Physikalische Bedingungen des organischen Stoffwechsels

[illegible]

[illegible]

Wenn von Mitte des [illegible]
die Organismen
Organische Gleich-
[illegible]
[illegible]
(Versuch über
organisches
Gleichgewicht)

Auf allen Punkten des Organismus
fortdauernd chemische Processe,
die einen [illegible] zum [illegible] stabile
Gleichgewichtslagen der organischen
Molecule. Wachsthum, Fortentwicklung,
Regeneration. [illegible] in Pflanzen.
Die anderen Erregungen von
Wärme, Elektrischen Strömen
und mechanischen [illegible], [illegible] (Magen) [illegible]
[illegible] Flimmerbewegung, Muskeln
[illegible] verschiedene [illegible], drüsen.
Sehr verschieden in verschiedenen
[illegible] Raum, [illegible] in
[illegible] und [illegible], [illegible]
[illegible] Muskeln, drüsen etc. Die [illegible]

Facsimile vom ersten Blatte der Handschrift.

Emil du Bois-Reymond's

Vorlesungen

über die

Physik des organischen Stoffwechsels.

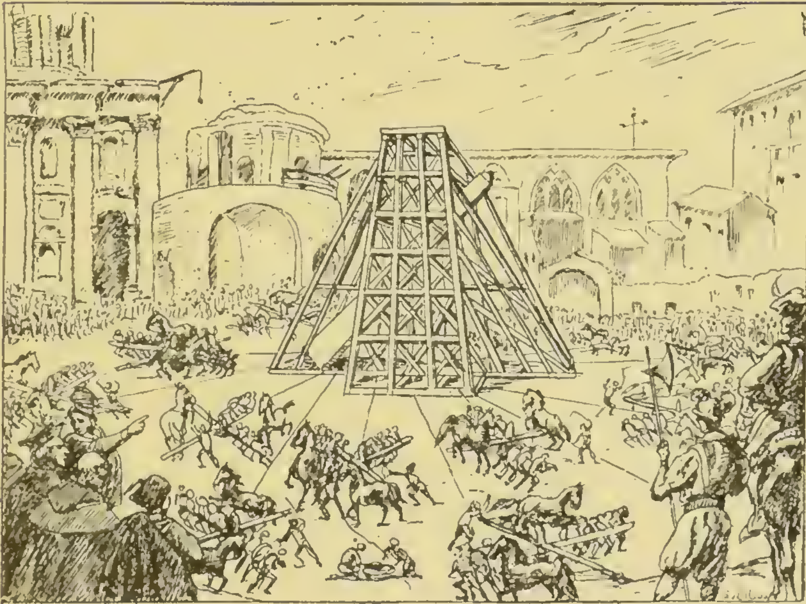
Herausgegeben von

Dr. **R. du Bois-Reymond,**

Privatdocent.



Mit 26 Figuren im Text.



Aufrichtung des Obelisken auf dem Petersplatze zu Rom. Nach dem Wandgemälde in der vatikanischen Bibliothek.

Berlin. 1900.

Verlag von August Hirschwald.

NW. Unter den Linden 68.

Vorwort.

Die Vorlesungen, deren Inhalt hier wiedergegeben werden soll, sind an hiesiger Universität vom Jahre 1856 an bis einschliesslich 1896, mit Ausnahme der Jahre 1859, 1872, 1873, im Sommersemester gehalten worden. Die Ankündigung lautete anfänglich „Ueber Diffusion", vom Jahre 1874 an „Physik des organischen Stoffwechsels"*).

Der Herausgeber von Vorlesungen kann seine Aufgabe auf drei verschiedene Weisen auffassen: Erstens kann er möglichst genau den thatsächlichen Wortlaut des Vortrags festhalten und gewissermaassen eine Reihe ausgewählter Stenogramme herausgeben. Zweitens kann er den Inhalt der Vorträge, so wie er dem Vortragenden selbst bekannt war, ausführlicher als dies beim Vortrag möglich ist, in Buchform bringen. Drittens endlich kann er, den vorgetragenen Lehrstoff nur benutzend, ein Lehrbuch aus den Vorlesungen machen, das dann auch allen Fortschritten auf dem betreffenden Gebiete gerecht zu werden hat.

Als mir von geschätzter Seite nahegelegt worden war, gerade diese Vorlesungen zu veröffentlichen, stellte sich bald heraus, dass ich nicht auf die erste Art würde verfahren können, weil stenographische Aufzeichnungen dieser Vorlesungen nicht zu beschaffen waren. Die äussere Form war übrigens bei diesen Experimentalvorträgen viel weniger kunstvoll, als bei den öffentlichen Wintervorlesungen. Nach der dritten Weise vorzugehen, fühlte ich mich weder befähigt noch berufen, da die grossen Fortschritte der

---

*) Auffälligerweise ist dies wörtlich derselbe Titel, unter dem K. Vierordt 1847—48 in Roser und Wunderlich's Archiv für physiologische Heilkunde eine Reihe von Arbeiten veröffentlicht hat.

neuesten Zeit ein ganz unabhängiges Werk erfordert hätten. Daher habe ich mich darauf beschränkt, aus dem vorhandenen Stoff, wie er war, den Gedankenkreis darzustellen, aus dem heraus die Vorlesungen gehalten wurden.

Es standen zu meiner Verfügung, ausser der allgemein zugänglichen Literatur, vier Quellen: Hr. Geh. Rath Hirschberg und Hr. Prof. Dr. I. Munk, hierselbst, und Hr. Dr. G. Zimmermann, Milwaukee, Wis. U. S. A., denen ich hiermit meinen besten Dank ausspreche, hatten mir nachgeschriebene Hefte zur Verfügung gestellt. Die geringe Zahl wird durch die Zuverlässigkeit der Verfasser und durch den glücklichen Umstand aufgewogen, dass diese drei Schriften einen beträchtlichen Zeitraum umfassen, da sie aus den Jahren 1863, 1870 und 1877 stammen. Ich selbst habe die Vorlesung im Jahre 1885 gehört. Viertens hielt ich die eigenen Notizen meines Vaters in Händen, die bei Weitem ausführlicher sind, als der Vortrag war, und mir hauptsächlich zur Grundlage dienten.

Die Notizen bestehen aus über hundert losen Blättern und Blättchen, die nach der Beschaffenheit des Papiers und nach dem Schriftzuge zu urtheilen, aus sehr verschiedener Zeit sind. Während einige noch aus den Vierziger Jahren stammen, findet sich dagegen Eine Eintragung, die mit schon zitternder Hand gemacht ist: „Dr. Walter Nernst, Theoretische Chemie, Stuttgart, Encke 1893 (zu van t'Hoff)“. Die Blätter waren völlig ungeordnet, sodass es schwer gewesen wäre, sich selbst an der Hand der Nachschriften zu orientiren, wenn nicht die im Text S. 8 wiedergebene Uebersicht und eine Anzahl anderer Blätter einen Schlüssel für die Gedankenfolge gegeben hätten. Auf sieben langen Zetteln fand sich nämlich die Disposition zu den Vorlesungen der Jahre 1893—95 ganz kurz aufgezeichnet, und zwar mit geringen Abweichungen mehrfach wiederholt, offenbar um den Gedankengang dem Gedächtniss einzuprägen.

Aus den Aufzeichnungen im Ganzen ist zu ersehen,

dass mehrmals, mindestens drei verschiedene Male, der Versuch gemacht ist, sie im Zusammenhang auszuarbeiten. Dazwischen haben offenbar durchgreifende Ausmusterungen stattgefunden, denn die ältesten Blätter, von denen nur fünf bis sechs vorhanden sind, tragen dreistellige Seitenzahlen. Selbst an den Stellen, wo mit der Ausarbeitung begonnen ist, ist aber der Styl gekürzt und abgerissen, wie etwa in Notizen zu eigenem Gebrauch. Offenbar sollte noch eine Niederschrift folgen, für die nur das Gerüst gegeben wurde. Hierauf deuten auch zahlreiche Ueberschriften ohne den zugehörigen Text. An einer einzigen Stelle findet sich eine Andeutung, dass die Herausgabe der Vorlesung beabsichtigt wurde, nämlich bei der Anekdote vom Obelisk auf dem Petersplatz (S. 106) die Bemerkung: „Soll in einer Anmerkung stehen“.

Nach diesen Angaben wird man vielleicht entschuldigen, wenn die Darstellung des Stoffes unter der Form, in der er gegeben war, gelitten hat. Die Schwierigkeit, alles, was ich über manche Gegenstände, wie beispielsweise das Chitin, notirt fand, im Zusammenhang vorzubringen, war so gross, dass ich mich entschliessen musste, einen Theil des Stoffes in Anmerkungen mitzutheilen. An anderen Stellen dagegen waren ganze Abschnitte auf ein vereinzeltes Stichwort hin zu ergänzen. Ausser solchen Stellen, wo nachweislich Irrthümer oder falsche Angaben vorlagen, habe ich nur wenige und unbedeutende Einzelheiten weggelassen, und mir im Text fast nirgends eigene Zusätze erlaubt. Hierbei konnte es nicht ausbleiben, dass oft grade, wo es sich um die grundlegenden Thatsachen handelt, die Darstellung allzu knapp oder gar lückenhaft geworden ist, weil die Notizen als selbstverständlich fortgelassen oder nur in kürzester Form gegeben waren.

Aehnlich ist es bei den Literaturangaben, die sich in grosser Zahl und meist ausreichender Genauigkeit in der Handschrift vorfanden. Fast überall sind mir die citirten Originalarbeiten zur besten Quelle für die Ausführung

allzu kurzer Andeutungen geworden. Doch habe ich nicht alle notirten Stellen benutzt und wiedergegeben, sondern nur die, deren Inhalt in den Notizen schon erwähnt war. Manche Angaben, die in den Worten der Handschrift, der damals geltenden Auffassung entsprechend, bestimmt und zuversichtlich lauteten, sind in historische oder zweifelhafte Form gekleidet worden. In denjenigen Fällen, wo Berichtigung heut als falsch erkannter oder gänzlich umgewandelter Anschauungen unumgänglich schien, ist diese in „Zusätzen“ in knappster Form gegeben.

Der beschriebenen Entstehungsweise nach wird das vorliegende Buch für den Fachmann fast nur historisches oder persönliches Interesse haben. Der Leser wird sich stets vor Augen halten müssen, dass die Handschrift in ihrer Gesammtheit etwa dem Stande der Wissenschaft am Ende der Sechziger Jahre entspricht, und dass die Umarbeitungen und Aenderungen, die ihr Verfasser später hätte machen können, vom Herausgeber nicht gemacht werden konnten.

So wenig aber das Büchlein ein Lehrbuch zu sein beansprucht, so lehrreich dürfte es dennoch werden können durch die nicht geringe Zahl von wissenschaftlichen Thatsachen und Beispielen aus dem praktischen Leben, die hier unter einheitlichen Gesichtspunkten gesammelt sind. Ist doch das Studium selbst viel älterer Lehr- und Handbücher aus diesem Grunde oft äusserst anregend.

Meinem Bruder Dr. Claude du Bois-Reymond, Hrn. Prof. Dr. Arthur König, Hrn. Prof. Dr. Immanuel Munk, Hrn. Dr. Walther Roth, hierselbst, und Hrn. Prof. Dr. Carl Runge in Hannover bin ich für gütige Durchsicht der Druckbogen und vielfache freundliche Beihilfe zu grossem Danke verpflichtet.

Charlottenburg, den 1. November 1899.

René du Bois-Reymond.

Inhaltsübersicht.

Verzeichniss der nach Ausweis des Arbeitsbuches in der Vorlesung vorgeführten Versuche und Demonstrationen.

I. Wandtafeln: 50. Graham's Gesetz der Aërodiffusion. 106. Torricelli's Theorem. — Giessen von Kohlensäure und Aufwärtsgiessen von Wasserstoffgas. Entleerung eines Kohlensäure enthaltenden Gefässes in ein anderes, worin ein Licht, durch einen Heber. Bildung des Salmiaknebels durch Diffusion von Salzsäuregas und Ammoniak.

II. Wandtafeln: 50. 206. Tracheensystem der Biene. — Dalton's Versuch über Aërodiffusion. Jamin's Versuch nach V. v. Lang.

III. Wandtafeln: 206. 329. Absorptionscoëfficient nach Bunsen. 328. Reduction einer Gasmenge auf 0° und 760 mm. 330. Absorptionscoëfffeienten. — Entfärbung von Lakmustinctur durch Kohle. Moser'che Bilder. Döbereiner'sche Zündmaschine. Platinmohr. Chitinskelet des Nashorn-käfers. Hauchversuch mit Spindelstift. Absorption von Luft durch Kohle, von Ammoniak durch Wasser.

IV. Wandtafeln: 328. 329. 330. — Absorptiometer. Absorption von Kohlensäure durch Wasser. Spitzenwirkung von Glaspulver im Selterwasser. Chemische Absorption von Sauerstoff durch pyrogallussaures Kali. Austreibung der Kohlensäure aus Selterwasser durch Salzlösung.

V. Wandtafeln: 50. 51. Hydroaërodiffusion. 328. 329. 330. — Hydroaërodiffusion durch Eiweissblasen, durch Schweinsdarm.

VI. Wandtafeln: 51. 266. Tabelle der Thaupunkte. — Loewel's Versuch über Uebersättigung. Tissot's Harnprobe.

VII. Wandtafeln: Uebersicht der Fettsäurereihe. — Euphorbiasaft unter dem Mikroskop. Spontane Emulsion nach Gad. Graham's Versuch über freie Hydrodiffusion von Kupfersulfat. Versuch mit Oel und Salmiak.

VIII. Capillarröhren und -Platten. Versuch über Ausbreitung. Sandimbibition. Hydrophan.

IX. Wandtafel: 144. Vertheilung der Lösung im Innern der Membran. — Comprimirte Gemüse. Storchschnabel-Hygroskop. Durch Trombe zersplitterter Eichenstamm. Rose von Jericho. Eisenbahnschwelle. LIEBIG's Filtrirversuch. Quecksilberregen.

X. Wandtafeln: 144. 334. STEPHAN HALE's Versuch am blutenden Weinstock. — MÜLLER's Versuch an Froschblase. MAGNUS' Versuch mit Verdunstung. Elektrotransfusion nach PORRET. WIEDEMANN's Apparat.

XI. Wandtafeln: 144. 145. BRÜCKE's Theorie der Hydrodiffusion. 148. BRÜCKE's Apparat. — NOLLET's Versuch. Hydrodiffusion durch Membran. Osmose.

XII. Wandtafeln: 86. Anatomie des Halssympathicus nach KRAUSE. 336. Secretionszellen nach LEYDIG. — Haptogenmembran nach ASCHERSON. TRAUBE's künstliche Zellen.

Vorbemerkung für den Leser.

Um allzuhäufige Unterbrechung des Textes durch Anmerkungszeichen zu vermeiden, sind die Anmerkungen am Fusse der Seiten nur durch Wiederholung einzelner Stichworte aus dem Texte bezeichnet worden.

Die Anmerkungen von geringerem Umfang sind unmittelbar unter den Text gedruckt, die längeren folgen am Schlusse unter laufender Nummer.

Wörtliche Citate aus der Handschrift sind durch * Sternchen * besonders bezeichnet, wo es auf den wörtlichen Ausdruck besonders ankommt, oder wo eine Angabe hat ungeprüft bleiben müssen.

Vom organischen Stoffwechsel.

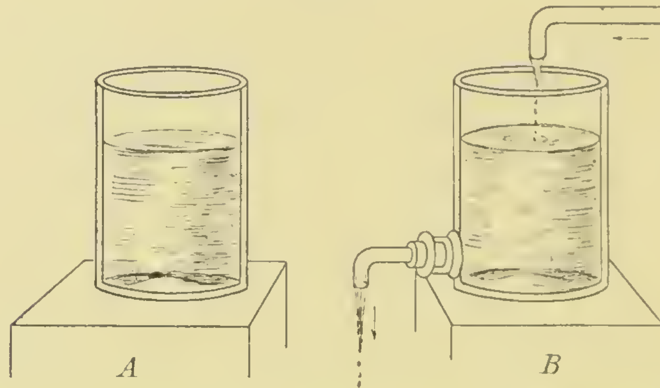
Alle die sinnfälligen Verschiedenheiten, durch die uns die lebende und die todte Natur als zwei getrennte Reiche erscheinen, lassen sich auf Einen grundlegenden Unterschied zurückführen. Wenn wir ein in sich abgeschlossenes Stück anorganischer Materie ins Auge fassen, ein anorganisches Individuum, wie es die von regelmässigen Flächen allseitig abgegrenzten Krystalle darstellen, so finden wir hier die Materie in einem völlig ruhenden Zustand. Der Krystall bleibt ohne die Einwirkung äusserer Kräfte ewig was er ist. Sein Gewicht, seine Gestalt, seine Masse ist nach Jahrhunderten genau dieselbe wie im Augenblicke des Entstehens. Man kann diesen Zustand der Materie in den anorganischen Körpern als einen Zustand stabilen Gleichgewichts bezeichnen.

Auf allen Punkten des lebendigen Organismus dagegen finden fortwährend chemische Processe statt. Theils durch von aussen überkommene Bewegung, theils durch die Spannkräfte der mit Molekülen der Aussenwelt in Wechselwirkung stehenden Moleküle des Lebewesens tritt neue Materie in mehr oder minder feste Gleichgewichtslagen innerhalb des Organismus ein, während andere daraus ausscheidet.

Wenn man sich die anorganische Materie des Krystalls unter dem Bilde der Wassermasse in einem Becherglase Fig. 1, A vorstellt, die sich in vollkommener Ruhe, in

stabilem Gleichgewicht befindet, so kann man dagegen die Materie im Organismus vergleichen mit der Flüssigkeitsmenge in einem zweiten Glase B, die fortwährend aus einer unteren Oeffnung abläuft, dabei aber durch dauernden Zufluss von oben her auf demselben Stande erhalten wird. Wird der Zufluss verstärkt, so wächst die Wassermasse im Gefäss an, wird er vermindert, so nimmt sie ab, und verschwindet schliesslich ganz. Der dauernd gleiche Stand der fortwährend wechselnden Wassermasse bei gleichem In- und Abfluss ist offenbar auch eine Art Gleichgewicht, die wir als „dynamisches Gleichgewicht“

Fig. 1.



Stabiles und dynamisches Gleichgewicht einer Flüssigkeitsmenge.

bezeichnen wollen. Das Wort „Gleichgewicht“ ist an dieser Stelle nur als eine bildliche Redensart gebraucht, um den verwickelten Fall zu bezeichnen, dass dauernd Bewegung von Materie stattfindet, ohne dass eine wesentliche Aenderung des Gesammtzustandes herbeigeführt würde. Man kann in diesem Sinne von dynamischem Gleichgewichte bei einem Strömungsvorgang reden, wenn in den gleichen Theil des Strombetts gleichviel Flüssigkeit einströmt, wie in derselben Zeit ausströmt. Die Bevölkerung einer Stadt ist in dynamischem Gleichgewicht, wenn die Summe der Todesfälle und Abzüge gleich ist der Summe der Geburten

Dynamisches Gleichgewicht: Vgl. Smaasen, Pogg. Ann. 69. 1846. S. 161. Vom dynamischen Gleichgewichte der Elektricität.

und Zuzüge in derselben Zeit. Die Bevölkerungszahl bleibt dann die gleiche, während die Individuen zum Theil andere geworden sind.

In dynamischem Gleichgewicht also befinden sich auch die Organismen, die ein Strom von Materie dauernd durchfliesst. Zeitweilig kann mehr Materie aufgenommen werden, als abgegeben wird, dann besteht nur unvollkommenes dynamisches Gleichgewicht: die Masse des Organismus nimmt zu, die „Bilanz des Stoffwechsels“ ist positiv. Scheidet umgekehrt der Organismus mehr ab, als er aufnimmt, so vermindert sich seine Masse bei „negativer Bilanz“ des Stoffwechsels.

Verfolgt man das Schicksal der in den Organismus eintretenden Stofftheilchen, so erkennt man, dass sie zwei ganz verschiedene Zwecke daselbst erfüllen. Ein Theil der chemischen Processe, durch die die eingeführte Materie im Körper gebunden wird, führt, physikalisch betrachtet, zu stabilen Gleichgewichtslagen der organischen Moleküle, in denen sie auch mehr oder minder lange Zeit, als dem Organismus angehörend, verbleiben. Diese Processe führen zu den Erscheinungen, die als Ernährung, Wachsthum, Entwicklung, Regeneration bekannt sind, und die Pflanzen und Thieren in gleichem Maasse zukommen. Ein zweiter Theil aber der erwähnten Processe dient im Organismus zur Erzeugung von Wärme, die für die warmblütigen („homoiothermen“) Thiere von der grössten Wichtigkeit ist, und von mechanischer Arbeit, die sich auf mannigfache Weise äussern kann:

als Elektricität in Nerven und Muskeln,
als Muskelbewegung,
als Flimmerbewegung,
als amoeboide Zellbewegung,

endlich auch als

chemische Thätigkeit der Drüsenzellen bei der Absonderung.

Beim Thier, das dauernd grosse Mengen lebendiger

Kraft ausgiebt, tritt diese Art der Stoffwechselvorgänge in den Vordergrund, gegenüber der Pflanze, die vielmehr durch Wachsthum Spannkräfte in sich anhäuft. Nach dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft können die Kräfte ebensowenig wie der Stoff selbst neu entstehen oder ganz spurlos verschwinden. Wo sich also Kräfte, wie bei der thierischen Bewegung, anscheinend aus sich selbst heraus entwickeln, müssen sie vorher in Form von Spannkräften vorhanden gewesen sein. Spannkraft ist nun in allen Stoffen aufgespeichert, die chemischer Umsetzungen fähig sind. Die eben aufgezählten Kraftwirkungen können also nur stattfinden, wenn dauernd in entsprechendem Maasse Material zu chemischer Umsetzung zugeführt wird. Innerhalb eines und desselben Organismus ist dieser Vorgang um so lebhafter, je reicher das Gewebe vascularisirt ist: also stärker in Muskeln, Drüsen, grauer Substanz, als in Knorpeln, Zähnen, compacter Knochenmasse und weisser Substanz des Centralnervensystems. Manche Theile der Organismen bedürfen sogar nur eines Minimums von Stoffwechsel, das praktisch garnicht in Betracht kommt. Das gilt von denjenigen Geweben, die man als todte bezeichnet, wie die äusseren Schichten der Epidermis des Menschen, den Schuppenpanzer mancher Amphibien, das Kalkgehäuse der Schalthiere.

Auf welche Weise sich bei den Umsetzungen der zugeführten Stoffmengen die Spannkräfte entwickeln, durch deren Freiwerden die mechanische Arbeit des Organismus bestritten wird, das zu untersuchen gehört zu den Aufgaben der Allgemeinen Physiologie. Hier sollen nur die Bedingungen betrachtet werden, die erfüllt sein müssen, damit jene chemischen Processe zu Stande kommen und dauernd unterhalten werden können. Die chemischen Vorgänge im Thierkörper sind der Flamme eines Herdfeuers

---

Erhaltung der Kraft: H. Helmholtz, Ueber die Erhaltung der Kraft. Vortrag in der Physik. Gesellsch. zu Berlin 23. Juli 1847. Berlin, G. Reimer. 1847.

vergleichbar, die nur brennt, so lange für Zufuhr von Luft und Brennmaterial und Abzug von Rauch und Asche gesorgt wird. Ohne Zufuhr von Brennmaterial verzehrt sich das Feuer; häufen sich die Verbrennungsprodukte, Wasserdampf, Kohlensäure und Asche an, so erstickt es.

Ebenso ist es mit dem dynamischen Gleichgewicht der Materie im Organismus: Leben kann nur bestehen, wenn fortwährend Stoffe zu- und abgeführt werden können, und zwar zu und von jedem Punkte des Organismus.

Zum Theil geschieht dies auf allgemein bekannte und leicht verständliche Weise durch grob mechanische Massenbewegungen, wie zum Beispiel die Strömung des Blutes in den Gefässen, die Bewegung der Athemluft in den Bronchien, die Bewegung der Secrete in den Ausführungsgängen der Drüsen. Hier ist die bewegende Kraft durch mechanische Vorrichtungen gegeben: im Fall der Blutgefässe durch die fortwährend thätige Herzpumpe, für die Athmung durch die Athembewegungen des Brustkorbes, für die Fortbewegung des Darminhalts durch die peristaltische Contraction des Darmrohrs und die Bauchpresse; ja, wenn man will, ist jede Bewegung der Arme und Beine auch hierher zu rechnen, da vermöge der in Lymphgefässen und Blutgefässen vorhandenen Klappen jeglicher äusserer Druck den in ihnen kreisenden Strom fördert.

Zum andern Theile aber erscheinen die Stoffwechselvorgänge als Molekularbewegungen, deren treibende Kräfte nicht ohne weiteres zu erkennen sind, und die daher unter den verschiedenen Benennungen der Absorption, Resorption, Secretion, Excretion, Exhalation seit langer Zeit Gegenstand voreiliger Speculation gewesen sind. Man betrachtete sie als Modificationen der dem lebenden Organismus zugeschriebenen eigenthümlichen „Lebenskraft", die man überall zu Hülfe nahm, wo die bekannten chemischen und physikalischen Gesetze zur Erklärung der Thatsachen nicht auszureichen schienen. Hiervon mag ein Beispiel angeführt werden: Das Blut, das durch die Gefässe den verschiedenen

Geweben zugeführt wird, besteht aus einer Unzahl verschiedener Substanzen, sodass es allen diesen verschiedenen Geweben das zum Ersatz der von ihnen verbrauchten Stoffe erforderliche Material darbieten kann. Das Blut ist aber in den Gefässen eingeschlossen und kann also nicht unmittelbar in die Gewebe eintreten. Ebenso ist auch in den Lungen, wo das Blut mit der Athmungsluft in Verkehr tritt, jedes in den Lungencapillaren schwebende rothe Blutkörperchen durch eine doppelte Membran gegen den Sauerstoff der Luft abgeschlossen, nämlich erstens durch die Capillarenwand, auf der zweitens noch eine zarte Schicht des Lungenepithels aufliegt. Den Vorgang nun, durch den in beiden Fällen der Stoffaustausch dennoch stattfindet, erklärte man früher durch die sogenannte Lebenskraft. Heute ist die Annahme der Lebenskraft hier ebenso wie auf allen anderen Gebieten durch den Nachweis allgemeiner physikalischer Kräfte ersetzt worden.

Diese Kräfte sollen nun, soweit es bis jetzt möglich ist, genauer bestimmt und zergliedert werden. Sie fallen, soweit sie rein physikalischer Natur sind, unter den Begriff der Transfusion und Diffusion tropfbarflüssiger und elastischflüssiger (gasförmiger) Körper. Freilich reicht die blosse Transfusion und Diffusion, wie sie unten beschrieben werden wird, nicht aus, manche Erscheinungen des Stoffwechsels zu erklären. Abgesehen vom Blutdruck und von der besonderen Beschaffenheit der absondernden Zellen kommt hierbei nämlich noch die Thätigkeit der Drüsennerven in Betracht.

Von der Transfusion und Diffusion im Allgemeinen.

Nichtsdestoweniger ist die Lehre von der Transfusion und Diffusion die Grundlage für die wissenschaftliche Erkenntnis aller vegetativen Processe.

Lehre von der Transfusion und Diffusion: Siehe Anm. u. Zusätze 1.

Unter „Transfusion“ versteht man das Hindurchtreten kleinster Theilchen eines Körpers durch die Substanz eines anderen unter dem Einfluss einer von aussen her einwirkenden Druckkraft.

Als „Diffusion“ bezeichnet man dagegen den Stoffaustausch, die Auswechselung von Stoffmengen zwischen zwei Substanzen, die einander, entweder frei, oder durch eine poröse Membran getrennt, berühren.

Das blosse Eindringen eines Körpers in die Hohlräume eines anderen, wie zum Beispiel das Eindringen von Wasser in einen Schwamm, wobei es sich um grobe, deutlich erkennbare Löcher handelt, ist nicht als Diffusion aufzufassen. Vielmehr ist nur an sogenannte Molekularporen zu denken, unmerkbar feine Räume, die wir selbst in der dichtesten Substanz annehmen müssen. Freilich werden auch die gröberen Erscheinungen, wie die der Capillarität, in den Kreis der Betrachtung aufgenommen werden müssen, weil es schwer, ja unmöglich ist, eine bestimmte Grenze zwischen den verschiedenen Vorgängen zu ziehen.

Im Allgemeinen setzt die Diffusion den flüssigen oder gasförmigen Zustand mindestens eines der beiden Körper voraus. Zwei feste Körper können nie untereinander diffundiren oder unter äusserem Drucke transfundiren.

Es mag indessen eine Ausnahme geben, wo beide diffundirende Körper starr wären, nämlich die Bildung des Cementstahls aus Eisen und Kohle. Der Vorgang ist der, dass flache Eisenstangen, in Kohlenpulver eingebettet, längere Zeit hindurch einer Temperatur ausgesetzt werden, bei der das Eisen noch nicht schmilzt, nämlich der Weissglüh- oder Schweisshitze. Dadurch verwandelt sich das Eisen in Stahl, der sich durch seinen Kohlenstoffgehalt

---

Diffusion: Siehe Anm. u. Zusätze 2.

Molekularporen: Siehe Anm. u. Zusätze 3.

Flache Eisenstangen: Bei grösserer Dicke dringt die Einwirkung von aussen viel langsamer durch.

Längere Zeit: 8—14 Tage.

vom Eisen unterscheidet. Der Process geht um so schneller vor sich, je höher die Temperatur. Man muss annehmen, dass die Kohlemoleküle durch das Eisen angezogen werden und solange wandern, bis sie allerseits gleichen anziehenden Kräften unterworfen sind.

Der Stahl wird dabei nicht durch und durch gleichartig, sondern die Stahlbildung schreitet von aussen nach innen vor. Daher ist in jedem der Eisenstäbe aussen schon weicher Stahl (von geringem Kohlegehalt) gebildet, während im Inneren noch reines weiches Eisen vorhanden ist. Aussen ist harter Stahl (das heisst kohlenstoffreiches Eisen), wenn innen noch weicher Stahl ist. Schliesslich hat die Oberfläche die Eigenschaften des Roheisens (höchster Kohlenstoffgehalt), wenn die Bildung von hartem Stahl im Innern vollendet ist.

Flüssigen oder gasförmigen Zustand eines Körpers vorausgesetzt, ist die Diffusion bei allen Combinationen der zwei Aggregatzustände möglich. Es können also gasförmige Körper mit gasförmigen frei oder durch poröse trockene oder metallische glühende Scheidewände, gasförmige mit tropfbar flüssigen, tropfbar flüssige mit festen und mit tropfbar flüssigen frei oder durch Scheidewände diffundiren und so fort. Die Reihe der unter diesen verschiedenen Verhältnissen sich ergebenden Erscheinungen, die wir nacheinander zu betrachten haben werden, gestaltet sich demnach etwa wie folgt:

1. Ausströmen von Gasen unter Druck (Effusion, Aërotransfusion).
2. Freie Aërodiffusion (und Superposition der Gase).
3. Aërodiffusion durch poröse trockene Scheidewände.
4. Occlusion der Gase.

Gleichen anziehenden Kräften: Vgl. Anm. u. Zusätze 4.

Harter Stahl: nicht zu verwechseln mit gehärtetem Stahl. Vgl. Anm. u. Zusätze 5.

Bildung von hartem Stahl: Vgl. Anm. u. Zusätze 6.

5. Adsorption der Gase.
6. Absorption durch tropfbare flüssige Körper (Insorption).
7. Diffusion der Gase durch feuchte Scheidewände oder Hydroaërodiffusion.
8. Lösung.
9. Emulsion.
10. Freie Hydrodiffusion.
11. Hydrodiffusion in nicht mischbaren Flüssigkeiten.
12. Capillarität.
13. Quellung oder Imbibition.
14. Filtration unter Druck (Hydrotransfusion).
15. Elektrodiffusion.
16. Hydrodiffusion durch Scheidewände (Osmose).
17. Secretion (Neurodiffusion).

Alle diese Fälle werden wir, vom einfachen zum zusammengesetzten fortschreitend, nacheinander durchnehmen. Manche davon haben unmittelbar kein physiologisches Interesse. Wir werden sie aber berücksichtigen müssen, um die anderen Fälle gehörig zu würdigen. So werden wir mehrfach auch solche Phaenomene berücksichtigen müssen, die nicht eigentlich Diffusionserscheinungen sind, aber deren Kenntniss zum Verstehen gewisser Diffusionserscheinungen nöthig ist.

Im Allgemeinen gelten für die Diffusionsvorgänge folgende Grundprincipien:

Die Diffusionserscheinung ist um so ausgiebiger, d. h. die ausgewechselte Stoffmenge ist um so grösser, je grösser der Unterschied im Procentgehalte der in Betracht kommenden Stoffmischungen, je länger die Dauer des Vorganges, je grösser die Berührungsflächen zwischen beiden Stoffen und je höher die Temperatur. Elektrische Ströme können die Wirkung befördern oder hemmen.

Aus den beiden ersten Angaben folgt, dass sich die Bewegung der Stofftheilchen bei der Diffusion ähnlich ver-

hält, wie die Ausgleichung von Wärme- oder Elektricitätsmengen. Trägt man also in ein Coordinatensystem die Zeit als Abscisse, das Maass der ausgewechselten Stoffmengen als Ordinate ein, so ergiebt sich eine asymptotisch zur Abscisse verlaufende Curve. Dies entspricht der oben schon angedeuteten Anschauung, dass die Moleküle der beiden Substanzen einem Gleichgewichtszustande zustreben. Die Theilchen einer Substanz dringen daher solange zwischen die der anderen ein, bis sie allerseits gleichen Kräften ausgesetzt sind. In dem Maasse, in dem sie sich diesem Zustande nähern, nimmt die Intensität des Diffusionsvorganges ab.

Die durch chemische Einwirkung der beiden diffundirenden Substanzen aufeinander entstehenden Erscheinungen, die über das Gebiet der reinen Diffusion hinausgehen, sollen nicht in Betracht gezogen werden.

Von der Effusion und Aërotransfusion.

Der erste Fall, der zu besprechen ist, ist der, dass ein flüssiger oder gasförmiger Stoff aus einem geschlossenen Gefäss durch eine Oeffnung in ein umgebendes Vacuum oder einen Raum, in dem niedrigerer Druck herrscht, ausströmt. Man bezeichnet diesen Vorgang als Effusion.

Das Gesetz der Effusion muss für Gase dasselbe sein, wie für tropfbar flüssige Körper, da in beiden Fällen die Stofftheilchen frei gegeneinander beweglich sind.

Je leichter der betreffende Stoff ist, desto schneller wird er von dem gleichen Drucke bewegt werden. Es besteht also eine Beziehung zwischen dem specifischen Ge-

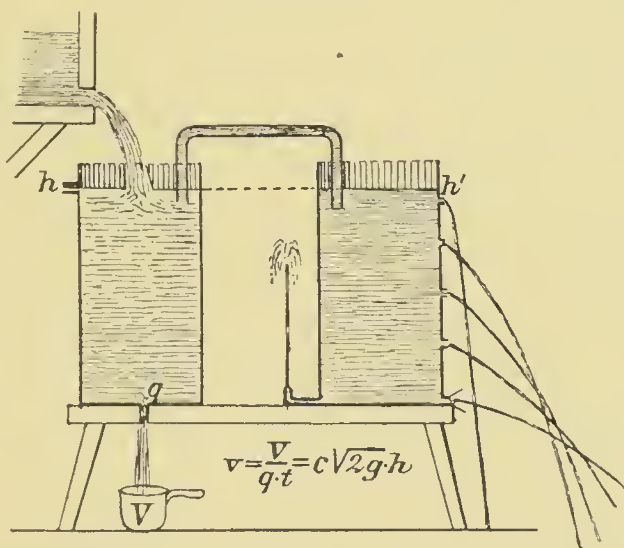
---

Wärme- oder Elektricitätsmengen: Vgl. Anm. u. Zusätze 7.
Chemische Einwirkung: Vgl. Anm. u. Zusätze 8.
Gesetz der Effusion: Vgl. Wüllner's Lehrbuch der Experimentalphysik. 2. Aufl. Leipzig 1866. I. S. 347.

wicht und der Ausströmungsgeschwindigkeit, die durch den Torricelli'schen Satz in folgender Weise angegeben wird:

Die Geschwindigkeit, mit der eine Flüssigkeit unter bestimmtem Druck aus einer Oeffnung entweicht, ist dieselbe, die sich bei freiem Fall aus derjenigen Höhe ergiebt, die eine Drucksäule der betreffenden Flüssigkeit haben müsste, um den gegebenen Druck zu erzeugen. Will man den Torricelli'schen Satz auf Gase anwenden, so nimmt man bei Berechnung der Höhe der Drucksäule

Fig. 2.



Torricelli's Theorem. Photographie nach dem Wandbild.

an, dass die Dichtigkeit, die das Gas am unteren Ende der Drucksäule, also unter dem gegebenen Drucke, besitzt, in der ganzen Säule gleichmässig herrsche. Bei der einem hohen Druck entsprechenden grossen Dichtigkeit des Gases wird man also für die Druckhöhe einen verhältnissmässig niedrigen, für niedrigen Druck und entsprechend geringe Dichtigkeit einen verhältnissmässig hohen Werth erhalten. Und da nach dem Mariotte-schen Gesetze die Dichtigkeit der Gase dem Druck pro-

Berechnung: Vgl. Anm. u. Zusätze 9.

portional ist, findet auf diese Weise eine vollkommene Ausgleichung statt, dergestalt, dass sich für jeden Druck bei ein und demselben Gase die gleiche Säulenhöhe und folglich die gleiche Ausströmungsgeschwindigkeit ergiebt. Die Ausströmungsgeschwindigkeit eines Gases ist also unabhängig vom Druck.

Wenn ein Gasquantum aus einem Gefässe durch eine Oeffnung ausströmt, treten daher die letzten Antheile mit derselben Geschwindigkeit aus wie die ersten.

Für verschiedene Gase gilt natürlich jedesmal dieselbe Betrachtung. Gase von geringerem specifischem Gewicht, also geringerer Dichte, erreichen höhere Ausflussgeschwindigkeit. Daher ist die Ausflussgeschwindigkeit verschiedener Gase umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus der Dichtigkeit. Wasserstoffgas, das 16mal leichter ist als Sauerstoff, hat eine 4mal grössere Ausflussgeschwindigkeit.

Betrachtet man den Fall, dass die Effusion eines Gases nicht ins Vacuum hinein, sondern in einen Raum stattfindet, in dem ein gewisser Druck herrscht, so ist bei der Berechnung der Ausflussgeschwindigkeit statt derjenigen Druckhöhe, die dem ganzen im Innenraum herrschenden Druck entspricht, die der Differenz zwischen Innen- und Aussendruck entsprechende Druckhöhe einzusetzen. Ist der Aussendruck gleich dem Innendruck, so wird die Ausflussgeschwindigkeit Null, die Bewegung hört auf.

Die Beobachtung concreter Fälle ergiebt in der Regel kleinere Ausflussmengen als nach der Formel zu erwarten wären. Man pflegt daher den nach der Formel berechneten Werth mit dem „Erfahrungscoëfficienten" $\mu < 1$ zu mul-

---

Die letzten Antheile mit derselben Geschwindigkeit: Dies gilt streng nur bei gleichbleibender Temperatur. Vgl. Anm. u. Zusätze 10.

Verschiedene Gase: Vgl. Anm. u. Zusätze 11.

Aussendruck gleich dem Innendruck: Vgl. Anm. u. Zusätze 12.

Erfahrungscoëfficient: Vgl. Anm. u. Zusätze 13.

tipliciren, um die richtigen Mengen zu erhalten. Dieser Erfahrungscoëfficient ist für Flüssigkeiten eine Constante, für die Effusion von Gasen aber abhängig vom Druck. Die Ursache ist, dass der austretende Strahl in Wirklichkeit nicht den vollen Querschnitt der Ausflussöffnung hat. Weil nämlich die seitlich zur Oeffnung hinzutretenden Stofftheilchen in ihrer Bewegung nach der Mitte der Oeffnung hin beharren, entsteht unterhalb der Oeffnung eine Zusammenziehung des Strahls, die sogenannte „Contractio venae". Weiterhin behält dann der Strahl die gleiche Dicke, hat also cylindrische Gestalt. Beim Ausströmen durch eine Röhre gleichen sich die seitlichen Bewegungen aus, und die Ausflussmenge wird relativ grösser. Für das Ausfliessen von Wasser aus einem Loch in einer dünnen Wand ist der Erfahrungscoëfficient, der angiebt, welcher Bruchtheil der nach der Formel zu erwartenden Wassermenge thatsächlich austritt, $\mu = 0{,}62$. Ist die Ausflussöffnung eine cylindrische Röhre, 5 mal so lang wie ihr Durchmesser, so ist $\mu = 0{,}92$. Ein kurzes aber verjüngtes Ansatzstück befördert den Ausfluss noch mehr. Bei trompetenförmig erweiterten Ausflussöffnungen entsteht eine Art Saugwirkung, sodass sogar mehr ausfliesst, als die Formel angiebt, es wird dann $\mu = 1{,}22 > 1$.

Im alten Rom, wo die Wasservertheilung durch strenge Gesetzvorschriften geregelt war, scheint diese Eigenschaft erweiterter Oeffnungen nicht unbekannt gewesen zu sein. Zwar bestand ein Gesetz, wonach die Leitung in den Privathäusern nicht weiter sein durfte, als das von der Behörde verlegte Zuflussrohr, man suchte sich aber wenigstens dadurch einen kleinen Vortheil zu verschaffen, dass man die Ausflussöffnungen mit erweiterten Ansätzen versah.

Saugwirkung: Vgl. Anm. u. Zusätze 14.

Rom: Vgl. Fabretti, De aquis et aquaeductibus veteris Romae. Romae 1658, § 235 und Lanciani, I Comentarii di Frontino intorno la Acqua e gli Aquedotti. Roma 1880.

Bei der Beobachtung der Transspiration oder Transfusion der Gase durch Capillarröhren ist GRAHAM zu Ergebnissen gelangt, die einerseits mit den Gesetzen der Effusion im Widerspruch standen, andrerseits untereinander schwer vereinbar waren. Je länger und enger nämlich die Röhre, um so mehr wird die Erscheinung der reinen Effusion durch den Widerstand an den Röhrenwänden getrübt.

Schon beim Ausströmen durch sehr lange Röhren, die nicht capillar sind, verhalten sich die Ausflussmengen direkt wie die Drucke und umgekehrt proportional dem Quadrate der Länge der Röhren. Es gilt also für die Ausflussmenge die Formel $M = m \cdot \frac{p}{l^2}$. Verschieden dichte Gase strömen unter diesen Umständen bei gleichem Drucke mit gleicher Geschwindigkeit aus.

Die gleiche Formel gilt für capillare Röhren, aber nur insofern ein und dieselbe Gasart in Betracht kommt. Bei verschiedenen Gasen zeigen sich Unterschiede, die von der Natur des Gases abhängen, sodass für jedes einzelne Gas ein besonderer „Reibungscoëfficient" eingeführt werden muss.

Die Leichtigkeit, mit der Gase unter Druck auch durch die engsten Oeffnungen hindurchgehen, kommt vielfach im praktischen Leben in Betracht. Der Druck des Windes auf ein Segel genügt zum Beispiel, um merkliche Luftmengen durch das Gewebe hindurch zu treiben. Bei starkem Winde fällt der dadurch entstehende Verlust an Triebkraft nicht ins Gewicht, bei leichtem Winde aber ist es von wesentlichem Nutzen, das Hindurchtreten

---

Graham: On the motion of gases. Phil. Transact. of the Royal Society. 1846. 4. p. 573.

Nicht capillar: Vgl. GIRARD, Mem. sur l'écoulement etc. Ann. de Chimie et de physique. 16. 1821. p. 129.

Reibungscoëfficient: Vgl. BUNSEN, Gasometrische Methoden. Braunschweig 1877. S. 267.

der Luft durch das Segel zu verhüten. Hierzu bedient man sich allgemein des einfachen Mittels, die Segel nass zu spritzen.

Wie PETTENKOFER gezeigt hat, geht die Luft auch durch trockenes Mauerwerk ganz leicht hindurch. Darauf beruht die sogenannte „freiwillige Ventilation" der Häuser. Man kann die Durchlässigkeit des Mauerwerks leicht anschaulich machen, indem man ein geeignetes Stück zwischen zwei trichterförmige in Röhren übergehende Ansatzstücke fasst, die es von allen Seiten luftdicht einschliessen. Bläst man nun in die Röhre auf der einen Seite hinein, so dringt die Luft durch das Mauerwerk und kommt aus der Röhre auf der anderen Seite in so kräftigem Strahle hervor, dass man auf diese Weise buchstäblich „ein Licht durch die Wand auspusten" kann. Ein Oelanstrich oder eine Tapete auf der Wand vermindert die Durchlässigkeit beträchtlich, ebenso in den Poren der Mauersteine enthaltene Feuchtigkeit.

Die Durchlässigkeit porösen Materials ist nicht für alle Gase dieselbe. Durch Papier dringt zwar Luft verhältnissmässig schwer, dagegen weht Wasserstoffgas fast frei hindurch, wie Luft durch ein Sieb. Aehnlich verhält sich auch Blattgold, Blattsilber, Zinnfolie, ja Guttapercha, das sich aus der Lösung in Chloroform in Gestalt einer Membran niedergeschlagen hat.

Von der Aërodiffusion.

Als im vorigen Jahrhundert durch LAVOISIER, PRIESTLEY und SCHEELE die Zusammensetzung der Atmosphäre

Pettenkofer führte auch die Schädlichkeit feuchter Wohnräume auf verminderte Durchlässigkeit der Wände zurück. Vgl. PETTENKOFER, Ueber Ventilation. Abh. d. nat.-techn. Comm. d. Acad. d. k. bayr. Acad. d. Wiss. München 1858. S. 97.

aus verschiedenen Gasarten erkannt worden war, — nämlich aus einem Gase, das als belebendes und säurebildendes Princip erschien, (daher Oxygen genannt), und einem anderen, das das organische Leben nicht zu unterhalten vermag und daher Azot oder Stickstoff (jetzt Nitrogen) genannt wurde — und als man erfuhr, dass die beiden Gase nur ein mechanisches Gemenge bildeten, war man geneigt anzunehmen, dass diese Vermengung ungleichmässig sein müsse, und dass die beiden Hauptbestandtheile der Luft an verschiedenen Stellen in ganz verschiedenen Mengen vorhanden sein würden. Man hoffte, die Malaria durch falsche Gasmischung in der Atmosphäre erklärt zu sehen, und bezeichnete deshalb a priori den Apparat zur Luftanalyse als „Eudiometer“. Es fand sich aber, dass in Wirklichkeit die procentische Zusammensetzung der Luft aus Sauerstoff und Stickstoff überall dieselbe ist, was als ein neuer Beweis für die Zweckmässigkeit der Schöpfung gepriesen wurde.

Die trockene atmosphärische Luft enthält stets 79 pCt. Stickstoff und nahezu 21 pCt. Sauerstoff neben einer geringen Menge Kohlensäure und noch viel kleineren Mengen anderer Gase. Freilich ist die Menge der Kohlensäure nicht immer ganz constant. In den hohen Schichten der Atmosphäre hat man mehr Kohlensäure gefunden, was sich darauf zurückführen lässt, dass die Kohlensäure an der Erdoberfläche von den Pflanzen aufgenommen wird.

Nach A. Schlagintweit beträgt für Höhen zwischen 3000 m und 4500 m der Kohlensäuregehalt 7—9 : 10 000, gegen 4—5 : 10 000 in der Ebene. Aehnliches hat schon Saussure in den Alpen und Lewy in Südamerika beobachtet.

Es fragt sich nun, warum im allgemeinen überall dieselbe Vertheilung von Sauerstoff und Stickstoff herrscht, während doch an manchen Orten entschieden viel mehr

---

Hohen Schichten: Vgl. Anm. u. Zusätze 15.

Sauerstoff verbraucht wird, als an anderen, und wiederum an anderen Orten reichliche Sauerstoffmengen an die Luft abgegeben werden?

Die Erklärung dieser Thatsache liegt in der Erscheinung der Diffusion: in dem Bestreben der Gase einander gegenseitig zu durchdringen und den ihnen dargebotenen Raum zu erfüllen, gleichviel ob er schon ein anderes Gas enthalte, oder nicht.

Selbst in dem Falle, dass die specifischen Gewichte verschiedener Gasarten sehr viel grössere Unterschiede zeigen, als dies bei den Bestandtheilen der Luft der Fall ist, steigt, der Einwirkung der Schwere entgegen, ein Theil des schwereren Gases nach oben, ein Theil des leichteren Gases sinkt nach unten, bis eine gleichmässige Mischung hergestellt ist. Dies beweist folgender Versuch von DALTON:

Zwei Gefässe von gleichem Rauminhalt, ein oberes und ein unteres, sind durch eine senkrechte Röhre verbunden, die durch Hähne abgesperrt werden kann. Das untere Gefäss wird mit Kohlensäure, das obere mit Wasserstoff gefüllt. Wenn man nun, nachdem die Hähne auf einige Zeit geöffnet worden sind, den Inhalt der beiden Gefässe untersucht, dann findet man, dass beide genau die gleiche Mischung von Kohlensäure und Wasserstoff enthalten. Die Hälfte des Kohlensäuregases ist also trotz seiner Schwere in das obere Gefäss hinaufgestiegen, und die Hälfte des Wasserstoffgases trotz seiner Leichtigkeit in das untere Gefäss hinabgedrungen. Das Endergebniss ist also für jede der beiden Gasmengen dasselbe, als wenn sie allein in dem Doppelgefäss enthalten gewesen wäre. Selbst wenn die Verbindungsröhre 800 mm lang und nur 9 mm weit ist, vollzieht sich der Austausch binnen einer halben Stunde.

Dalton: Vgl. Anm. u. Zusätze 16.
Austausch: Vgl. Anm. u. Zusätze 17.

Diese Erscheinung, das Grundphänomen der Aërodiffusion, ist um so auffallender, als das specifische Gewicht der verschiedenen Gase ganz ausserordentlich grosse relative Unterschiede zeigt. Wasserstoff, bezogen auf Luft von gleicher Temperatur und gleichem Druck hat die Dichtigkeit 0,0692, Kohlensäure dagegen 1,520. Diese Zahlen verhalten sich wie 1 : 22,1, was man erst recht ermisst, wenn man bedenkt, dass sich das specifische Gewicht des Wassers zu dem des Quecksilbers nur wie 1 : 13,59 verhält. Um sich das Gewichtsverhältniss von Wasserstoff und Kohlensäure vorzustellen, müsste man an Wasser und geschmolzenes Platin denken. Kohlensäure ist soviel schwerer als Luft, dass man sie wie Wasser aus einem Gefäss ins andere giessen, ja durch Heberröhren laufen lassen kann. Die Gegenwart der Kohlensäure in den Gefässen ersieht man daran, dass ein hineingetauchter brennender Spahn erlischt. Schon bei einem Kohlensäuregehalt von 25 Procent vermag die Luft die Verbrennung nicht mehr zu unterhalten. Umgekehrt lässt sich Wasserstoffgas vermöge seiner Leichtigkeit in umgestülpten Gefässen halten und aus einem solchen Gefäss durch Aufkippen nach oben in ein anderes umfüllen. Trotz dieser grossen Unterschiede im specifischen Gewicht der Gase findet durch die Diffusion gleichmässige Vertheilung statt, sobald zwei Gasvolumina mit einander in freier Berührung stehen.

Von der Superposition der Gase.

Einen Ausnahmefall bildet die sogenannte „Superposition“ der Gase, die aber nur in solchen Fällen Bestand haben kann, wo ein dauernder Zufluss von einer Seite her die vollständige Mischung durch Diffusion unmöglich macht.

Heberröhren: nach Böttger, cf. Heumann, Anleitung zum Experimentiren etc. S. 392, wo indessen nur der Versuch beschrieben ist.

Dies kommt in der Natur im grössten Maassstabe vor, wo Kohlensäure aus Erdspalten hervorströmt. Vermöge ihrer Schwere breitet sie sich zunächst auf dem Boden aus, und wenn in demselben Maasse, in dem die Oberfläche in die darüber befindliche Atmosphäre diffundirt, neue Kohlensäuremengen von unten nachdrängen, bildet sich eine stehende Ansammlung von Kohlensäuregas.

Dies ist das berühmte Phänomen in der „Grotta canina", der „Hundsgrotte" am Lago d'Averno bei Neapel. Die Kohlensäureschicht bedeckt nur den Boden der Grotte, sodass sich Menschen ohne Beschwerde darin aufhalten können. Kleine Thiere aber, zum Beispiel die zum Zweck der Demonstration dahin mitgeführten Hunde, werden vollständig von der Kohlensäure bedeckt und gehen zu Grunde, wenn sie nicht rechtzeitig wieder an die Luft gebracht werden. Dieselbe Ausbreitung der Kohlensäure findet in der Umgebung der sogenannten „Mofetten" statt, Kohlensäure ausstossender Erdspalten, die in vulkanischen Gegenden mehrfach angetroffen werden. Im Upasthal auf Java befindet sich ein unsichtbarer, aber allen Thieren tödtlicher See von Kohlensäure, dessen Gestade durch gebleichtes Gebein kenntlich geworden ist.

Aehnlich verhält sich die Kohlensäure aus gährenden Fässern in Weinkellern und Brauereien, wie Novalis in seinem „Lob des Weins" dichterisch schildert:

Es nahe keiner seiner Kammer,
Wenn er sich ungeduldig drängt
Und jedes Band und jede Klammer
Mit jugendlichen Kräften sprengt.

Denn unsichtbare Wächter stellen,
So lang er träumt, sich um ihn her,
Und wer betritt die heilgen Schwellen,
Den trifft ihr luftumwob'ner Speer."

Upasthal: Vgl. Anm. u. Zusätze 18.
Novalis: Schriften. 1802. I. S. 222.

Beim Betreten von Kellern, beim Hinabsteigen in Brunnenkessel oder Cloakenräume, pflegt man deshalb Fackeln von brennendem Stroh vorauszutragen um die Gefahr zu erkennen.

Schichtung von Sauerstoff, ganz ebenso wie die von Kohlensäure, ist über Pfützen beobachtet worden, die von grünen Vegetationen erfüllt waren, obschon sich das specifische Gewicht des Sauerstoffs zu dem des Stickstoffs, der ja den übrigen Theil der Athmosphäre bildet, nur wie 110 : 97 verhält.

Umgekehrt sammelt sich das Grubengas, das als „schlagendes Wetter" der Bergleute in Kohlengruben vielfach angetroffen wird, seines geringen specifischen Gewichts halber im oberen Theile der Gruben an.

Aërodiffusion durch trockene poröse Scheidewände.

Aehnlich wie bei der freien Aërodiffusion verhalten sich Gase, die durch trockene poröse Scheidewände getrennt sind. Hierunter sind Wände zu verstehen, die grob mechanische Poren, nicht bloss die oben erwähnten Molecularporen enthalten. Dies trifft für gesprungene Glasgefässe und für Flaschen zu, die mit uneingefetteten mangelhaft eingeschliffenen Glasstöpseln verschlossen sind. Anfänglich hat man solche Fälle untersucht, später wurden poröse Scheidewände eigens zum Zwecke der Versuche aus Gips, Kohle, Graphit, Dolomit, unglasirtem Thon etc. hergestellt. Statt dessen kann man auch Holzplatten, thierische Blase, Membranen aus Collodium, Kautschuk, Kork, Goldschlägerhaut u. s. w. verwenden. Ein besonders schönes

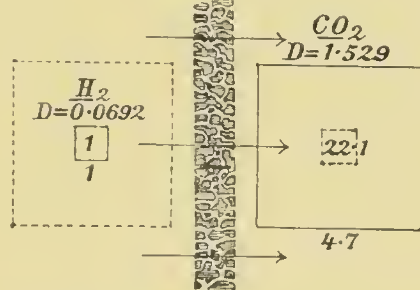
---

Cloakenräume: hier oft Schwefelwasserstoff.
Schichtung von Sauerstoff: * Lewy. Morren. *
Schlagendes Wetter: S. Hasslacher, Hauptbericht der Preuss. Schlagwetter-Commission. Berlin 1887. S. 63.

Beispiel porösen Materials bietet ein in Czernowitz vorkommendes, dem Opal verwandtes Mineral, der Hydrophan, der vermöge seiner Porosität Wasser aufzusaugen vermag, sodass er hell und klar wird, während er im trocknen Zustande trübe durchscheinend ist.

Sind zwei Gase durch eine solche Scheidewand getrennt, so findet durch die Scheidewand hindurch Diffusion statt. Das Hindurchströmen der Gasmengen durch die einzelnen Porenöffnungen kann man als Effusionsvorgang betrachten. Das Verhältniss der Geschwindigkeiten, mit denen die verschiedenen Gase die Scheidewand durchdringen, ist daher dasselbe wie bei der Effusion. Dies

Fig. 3.



Graham's Gesetz der Aërodiffusion. Photographie nach dem Wandbild.

wird bestätigt durch das Gesetz von Thomas Graham, das besagt: Die in der Zeiteinheit durch eine poröse Scheidewand diffundirenden Raummengen zweier Gase verhalten sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus ihrem specifischen Gewicht.

Wenn also Kohlensäure und Wasserstoff, deren specifische Gewichte sich wie 22,1 : 1 verhalten, durch eine poröse Scheidewand diffundiren, so verhält sich die hindurchdringende Menge von Kohlensäure zu der von Wasserstoff wie

$$\sqrt{1} : \sqrt{22,1} \text{ oder wie } 1 : 4,7.$$

Luft und Wasserstoff verhalten sich nicht ganz so verschieden:

Spec. Gew. der Luft = 1,000
" " des Wasserstoffs = 0,06926
1,000 : 0,069 = 14,43 : 1.

Es treten also für 1 Raumtheil Luft 3,8 Raumtheile Wasserstoff durch die Scheidewand.

In aller Schärfe kann sich das Gesetz nicht leicht bewähren, denn es setzt voraus, dass auf beiden Seiten trotz des fortwährenden Durchtretens ungleicher Volumina derselbe Druck erhalten bleibe, und dass keine Reibung zwischen den Gasen und den Porenwänden stattfinde. Bunsen vergleicht daher den Vorgang der Aërodiffusion durch poröse trockne Scheidewände nicht mit dem der Effusion, sondern vielmehr mit der Transfusion durch capillare Röhren:

Sind zwei Mengen desselben Gases durch eine trockne poröse Scheidewand getrennt, so ist die von einer Seite zur andern übertretende Menge proportional der Druckdifferenz und einem Reibungscoëfficienten, der von der Natur des Gases und der Scheidewand abhängt. Die Ausflussgeschwindigkeit ist also nicht umgekehrt proportional der Wurzel aus der Dichte, die Poren verhalten sich nicht wie feine Oeffnungen in einer dünnen Wandung, sondern wie capillare Röhren. Bunsen's Theorie weicht also von der Graham'schen nur insofern ab, als er für das ideale von Graham vorausgesetzte Verhältniss das reale setzt.

Die ursprüngliche Graham'sche Versuchsmethode ist zur Demonstration wenig geeignet, weit besser der Jamin-sche Versuch in seinen verschiedenen Formen.

Graham verfuhr folgendermaassen:

Ein starkes Glasrohr wird an einem Ende mit einem Gipspfropf verschlossen, der in heisser Luft vollständig getrocknet ist. Der Verschluss wird durch eine übergezogene Kautschukkappe vervollständigt, die Röhre mit Quecksilber gefüllt, und in einer Quecksilberwanne, das

---

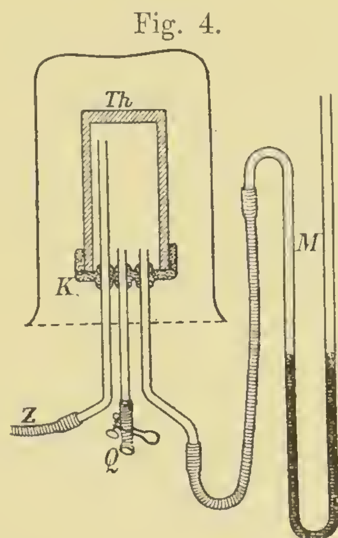
3,8 Theile Wasserstoff: Nach Bunsen in Wirklichkeit nur 3,34.
Bunsen: Vgl. Anm. u. Zusätze 19.

geschlossene Ende nach oben, aufgerichtet. Man lässt nun Wasserstoffgas in das untere Ende der Röhre eintreten bis das Quecksilber innerhalb und ausserhalb der Röhre gleich steht, und entfernt dann die Gummikappe vom oberen Ende der Röhre. Sogleich beginnt durch den Gipspfropfen hindurch die Diffusion des Wasserstoffs und der äusseren Luft. Da für jeden Theil Luft, der eintritt, 3,8 Theile Wasserstoff austreten, so nimmt das Gasvolum in der Röhre ab, was man am Steigen des Quecksilbers erkennen kann.

JAMIN hat für diesen Versuch eine bessere Form gefunden:

Die Thonzelle eines DANIELL'schen Elements wird durch eine Kautschukkappe mit drei Rohransätzen (oder einen guten Kork mit drei Durchbohrungen) geschlossen, und mit dem Boden nach oben in einem hohen Stativ be-

Fig. 4.



V. v. LANG's Anordnung des JAMIN'schen Versuchs.
Th Thonzelle, K Kautschukkappe, Z Zuleitung, Q Quetschhahn, M Manometer.

festigt. In die eine Oeffnung wird ein langes Steigrohr eingesetzt, dessen unteres Ende in ein Gefäss mit farbiger Flüssigkeit (Indigolösung) taucht. In die zweite Oeffnung

Jamin: Vgl. Anm. u. Zusätze 20.

kommt eine Zuleitungsröhre, die mit einem Gasometer voll Wasserstoffgas verbunden ist, und ins Innere der Thonzelle bis dicht unter den Boden reicht. In die dritte Oeffnung endlich kommt ein Abflussrohr, das mit einem Quetschhahn geschlossen ist. Man treibt nun durch den kräftigen Wasserstoffstrom vom Gasometer her die atmosphärische Luft aus den Zellen durch das Steigrohr hinab, sodass sie in Gestalt von Blasen durch das Farbflüssigkeitsgefäss austritt. Sobald man nun den Zuflusshahn am Gasometerrohr wieder schliesst, beginnt die Flüssigkeit im Steigrohr mit grosser Geschwindigkeit zu steigen. Im Princip ist der Versuch derselbe wie der vorher beschriebene, aber der Erfolg ist viel auffälliger, weil die Oberfläche der Thonzelle und ihr Inhalt im Verhältniss zu dem des Steigrohrs viel grösser ist, und durch das Steigen der Farblösung nicht wesentlich verändert wird. In Jamin's Versuch war das Steigrohr 3 m lang, und nach 20 min. stand die Flüssigkeit 2—2,5 m hoch. Füllt man nachher die Thonzelle mit Kohlensäure statt des Wasserstoffs, so sinkt die Flüssigkeit wieder ab. Ist die Thonzelle mit Luft gefüllt und man stülpt eine Glocke mit Wasserstoff darüber, so treibt der eindringende Wasserstoff die Flüssigkeit, in die das Steigrohr eintaucht, in Blasen empor.

Diese Form des Versuchs hat Victor v. Lang weiter ausgebildet, indem er die Thonzelle, statt sie mit einem Steigrohr zu versehen, durch einen Gummischlauch mit einem U-förmigen Manometerrohr verband. Der Versuch kann am einfachsten mit Leuchtgas statt mit Wasserstoff gemacht werden, obschon das specifische Gewicht des Leuchtgases sich zu dem der Luft nur wie 0,5 : 1 verhält, die Diffusionswirkung also viel weniger lebhaft ist. Stülpt man über die Thonzelle eine Glocke mit Gas, so strömt dieses schneller in die Zelle als die Luft austritt, und bringt im Manometer einen positiven Ausschlag hervor. Entfernt man die Glocke, nachdem eine hinreichende Menge Gas in die Zelle eingetreten ist, so sind nun die

Bedingungen des JAMIN'schen Versuchs gegeben: Das Gas tritt schneller aus der Zelle in die umgebende Luft aus, als Luft hineintreten kann, und es entsteht in der Zelle negativer Druck, der die Flüssigkeit im Manometerrohr ansaugt.

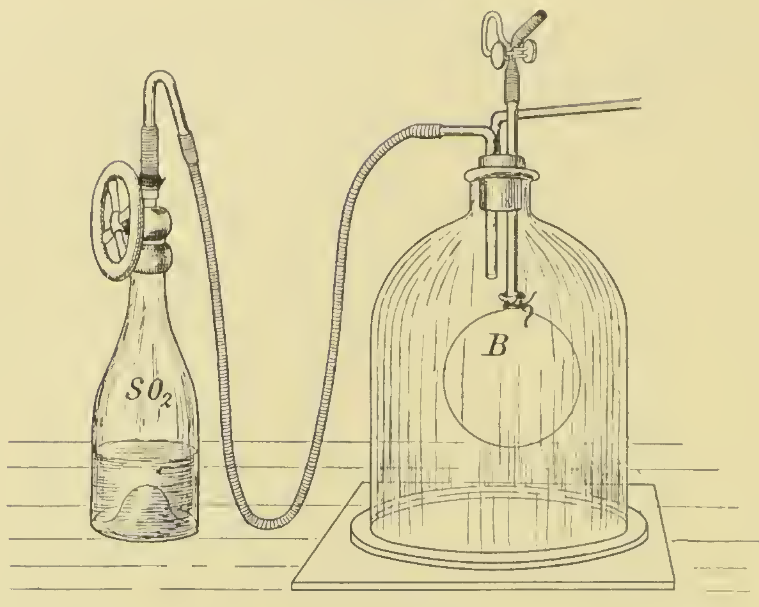
Das Princip des JAMIN'schen Versuchs ist in dem Apparate von ANSELL dazu benutzt, die Diffusion des Grubengases mittelst eines elektrischen Läutewerks bemerkbar zu machen und so die Gefahr der schlagenden Wetter anzuzeigen. Praktische Verwendung hat indessen diese Vorrichtung nicht gefunden.

Auch solche Stoffe, die im Allgemeinen für undurchdringlich gelten, erweisen sich bestimmten Gasarten gegenüber als poröse Körper. Ueberbindet man ein Gefäss voll Kohlensäure und ein Gefäss voll Wasserstoffgas mit Kautschukmembranen, und lässt sie einige Zeit an der Luft stehen, so soll die Membran des Wasserstoffgefässes allmählich eingezogen werden, weil mehr Wasserstoff entweicht, als Luft eindringt, und umgekehrt die Membran des Kohlensäuregefässes aufgetrieben, weil mehr Luft eintritt, als Kohlensäure ausströmt. Die Kautschukmembran verhält sich also hier vollkommen analog JAMIN's Thonzelle. Dieser Versuch ist von MITCHELL angegeben.

Sehr viel intensiver ist die Diffusion schwefliger Säure durch Gummimembranen, wie ein Versuch von RAOUL PICTET beweist (Fig. 5). Lässt man die schweflige Säure in eine Glocke eintreten, unter der sich ein mässig mit Luft gefüllter rother Gummiballon befindet (wie die mit Wasserstoff gefüllt als Kinderspielzeug käuflichen), so fängt der Ballon sofort an zu schwellen. Lässt man ihn längere Zeit darin, so platzt er. Ueberbindet man ein Rohr, das mit seinem unteren Ende in Quecksilber taucht, oben mit mehrfachen Kautschuklamellen, zwischen

Ansell: Vgl. Anm. u. Zusätze 21.
Mitchell: Vgl. Anm. u. Zusätze 22.
Schweflige Säure: Vgl. Anm. u. Zusätze 23.

Fig. 5.



Pictet's Versuch über Diffusion schwefliger Säure.
SO_2 Champagnerflasche mit comprimirter schwefliger Säure.
B Gummiballon.

Metallnetzen, und füllt es mit schwefliger Säure, so steht am andererm Tage das Quecksilber im Rohre fast genau in der Höhe der Barometersäule. Die schweflige Säure ist durch den Kautschuk entwichen, ohne dass dafür Luft eindringen konnte.

Nach H. Sainte Claire Deville und Troost's Entdeckung giebt es auch Stoffe, die erst bei erhöhter Temperatur porös werden. So ist glühendes Eisen für verschiedene Gase durchlässig. Daher findet man eine mit Wasserstoff gefüllte eiserne Bombe, nachdem sie geglüht worden, vollkommen leer. Das Ausströmen des Wasserstoffs erklärt sich, sofern die Scheidewand porös wird, einfach aus der Diffusion.

Die Entdecker waren bemüht, dem Versuch noch exactere Form zu geben. Weil der Versuch mit gewöhnlichem Eisen dem Bedenken unterliegt, dass das Eisen, wie das gewöhnliche Platin, zusammengeschweisster

---

St. Claire Deville: Vgl. Anm. u. Zusätze 24.

Schwamm sei (une éponge rapprochée par le marteau), nahmen sie eine Röhre aus nahezu kohlefreiem Stahl, der also unhärtbar war, dagegen kalt ausgezogen werden konnte. Die Röhre wurden an beiden Enden durch Silberlöthung an kupferne Röhren angeschlossen, von denen die eine mit einem Wasserstoffbehälter, die andere mit einem in Quecksilber tauchenden Steigrohr verbunden war. Das Stahlrohr war von einem weiteren Porcellanrohr umgeben. Füllte man nun erst die Röhre mit dem (völlig reinen) Wasserstoffgase, verschloss dann das Zuflussrohr und erhitzte das Stahlrohr, so begann das Quecksilber zu steigen, desto schneller, je stärker geheizt wurde, etwa 3—4 cm in der Minute. Nach mehrstündigem Glühen erreichte das Quecksilber 740 mm, also beinahe den zeitigen Barometerstand. Man kann auch umgekehrt, indem man das glühende Metall mit einer Wasserstoffatmosphäre umgiebt, den Druck im Innern steigen lassen. Aehnlich wie Eisen oder Stahl verhält sich in dieser Beziehung Platin. Die Porosität stellt sich erst allmählich her, in dem Maasse wie die Metalle ausgeglüht werden.

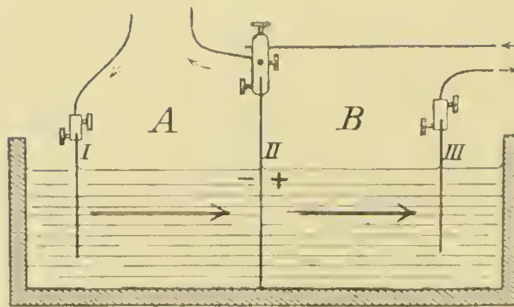
Diese Erscheinung gewinnt im Zusammenhang mit der Dissociation von gasförmigen Verbindungen durch Hitze an Bedeutung. Lässt man Wasserdampf durch eine glühende eiserne Röhre strömen, so wird er in die beiden Elemente zerlegt, und das freigewordene Wasserstoffgas entweicht durch die Wandung.

Es kommt übrigens auch vor, dass Metalle, ohne glühend zu sein, Wasserstoff hindurchlassen. Bei einem Versuche, den Elihu Root (aus Boston) unter Helmholtz' Leitung angestellt hat, durchwandern die Wasserstoffmoleküle eine Scheidewand aus Platin. Ein Glastrog, Fig. 6, wurde durch ein eingekittetes Platinblech H in zwei getrennte Kammern, A und B, getheilt, die beide mit angesäuertem Wasser gefüllt wurden. Wurde nun die Flüssig-

---

Wasserstoffgas entweicht: Vgl. Anm. u. Zusätze 25.
Elihu Root: Vgl. Anm. u. Zusätze 26.

Fig. 6.



Versuch von Elihu Root.
I II III Platinelektroden. Im Stromkreis B Polarisation, nachdem A durchflossen.

keit in der einen Kammer durch einen von einer eingelegten Elektrode (I) zu dem Platinblech gehenden Strom zersetzt, sodass sich an dem Platinblech Wasserstoff ausschied, so trat auch zwischen der anderen Seite des Bleches und einer zweiten Elektrode (III) ein Polarisationsstrom auf, der nur von dem bis zu der anderen Seite des Platinbleches durchgedrungenen Wasserstoff herrühren konnte.

Von der Occlusion.

Was geschieht nun, wenn das glühende Eisen während der Diffusion des Wasserstoffs erkaltet? Offenbar muss dann eine gewisse Menge des Gases gleichsam im Metall abgefangen werden. Dies ist die von Graham entdeckte „Occlusion" der Gase im Metallen.

Aus den Gasmengen, die er im Meteoreisen occludirt fand, zog Graham den Schluss, dass sie in glühendem Zustande durch eine Wasserstoffatmosphäre von grosser Dichtigkeit geflogen sein müssten. Während es nämlich nicht gelingt, bei atmosphärischem Drucke mehr als ein Raumtheil Wasserstoffgas in Eisen occludirt zu erhalten,

Meteoreisen: Vgl. Anm. u. Zusätze 27.

enthielten 5,78 ccm des Meteoreisens von Lenarto nicht weniger als 16,53 ccm, also fast drei Raumtheile Gas, und zwar grösstentheils Wasserstoff.

Wie Eisen, occludirt auch Kupfer Wasserstoffgas, und zwar in verschiedener Menge, wahrscheinlich weil eine mehr oder minder mächtige Oxydschicht an der Oberfläche reducirt wird. Das Kupfer hält den occludirten Wasserstoff sogar im rothglühenden Zustande im Vacuum fest. Auch Kohlensäure wird von rothglühendem Kupfer aufgenommen.

In noch höherem Grade besitzt das Palladium die Eigenschaft, Wasserstoff aufzunehmen. In Gestalt von Folie, also gehämmert, nimmt es bei einer Temperatur von unter 100° schon das 643fache Volum auf. Aus dem Chlorür präcipitirt vermag es sogar das 982fache Volum aufzunehmen, sodass folgendes Verhältniss besteht:

Pd	1,0020 . .	99,27 g
H	0,0073 . .	0,72 g

Hierbei handelt es sich nicht um eine Verbindung, denn die Wasserstoffverbindungen anderer Metalle, ja des Palladiums selbst, sind bekannt: Es sind braune bröcklige Massen, die keine Eigenschaft der Metalle mehr zeigen. Graham schaltete ein verschlossenes Röhrchen aus Palladium, in dessen Höhlung ein Vacuum unterhalten wurde, als negative Electrode in einen Stromkreis. Dabei fand keine Gasentwicklung an der Electrode statt, weil der entstehende Wasserstoff sogleich vom Palladium aufgenommen wurde. Obschon sich das Palladium auf diese Weise sättigen konnte, trat in den Innenraum nicht eine Spur von Wasserstoffgas über, sodass Graham schliessen musste, der Wasserstoff sei in Gasform nicht mehr vorhanden, sondern sei „möglicherweise in Folge seiner Eigenschaft als Dampfform eines Metalles" verflüssigt, ver-

Kupfer: S. G. G. Johnson, On the Occlusion of Hydrogen by Copper. Journ. of the chem. Soc. 35. 1879. p. 232.

Palladium: Vgl. Graham, Comptes rendus. 66. 1868. p. 1014 oder A. W. Hofmann, Ges. Gedächtnissreden. Braunschweig 1888. I. S. 34.

dichtet. Diese Eigenschaft des Palladiums bewährt sich merkwürdigerweise nur dem Wasserstoff gegenüber, Stickstoff und Sauerstoff nimmt es durchaus nicht auf.

Von der Rolle der Aërodiffusion in der Natur.

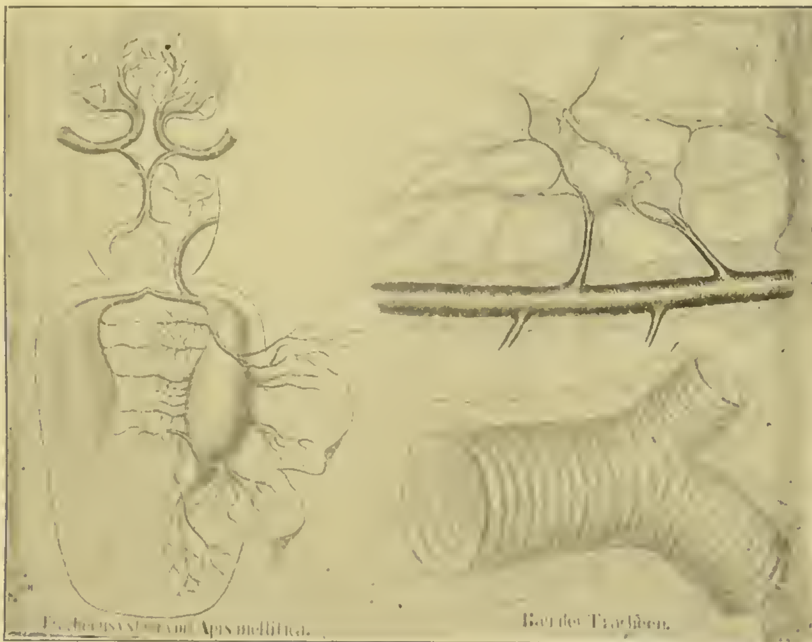
Die Aërodiffusion spielt mehrfach in der organisirten Welt eine wichtige Rolle. So beruht auf ihr die Tracheen-Athmung der Gliederthiere. Bei diesen Thieren geht, wie CUVIER sagt, nicht das Blut die Atmosphäre aufsuchen, sondern die Atmosphäre sucht die bedürftigen Gewebe auf. Hierzu dient ein System von Luftröhren, Tracheen, die sich im ganzen Körper mit äusserst feinen Aesten vertheilen, die schliesslich mit den einzelnen Gewebszellen in Verbindung stehen. Die Röhren sind gegen Compression durch äusseren Druck dadurch geschützt, dass ihre Wandung eine spiralig fortlaufende Verdickung enthält. Die Röhre ist gewissermaassen durch spiralförmige Aufwicklung eines elastischen „Spiralfadens" entstanden zu denken. Von aussen ist die Röhre von einer zarten als „Peritoneum" bezeichneten Membran, von innen durch eine ähnliche einfache Zellenschicht bekleidet. Das Material aus dem die elastischen Spiralfäden bestehen, ist das Chitin, jene eigenthümliche Substanz, die, teleologisch gedacht, bei den Insekten für die Knochen und Knorpel, die Gerüstsubstanzen anderer Thiere, eintritt. Die Tracheen nehmen ihren Ursprung von Oeffnungen in der äusseren Leibeswand, von der sie also gleichsam Einstülpungen bilden. Bei den Bienen finden sich besondere Lufthöhlen innerhalb des Körpers, von denen wiederum die Tracheen ausgehen. Die äusseren Oeffnungen heissen Stigmata, und zeigen meist besondere ventilartige Einrichtungen. Durch

---

Chitin: Vgl. Anm. u. Zusätze 28.

die Stigmata communicirt die in den Tracheen enthaltene Luft mit der der Umgebung. In die Endigungen der Tracheen wird von den Geweben Kohlensäure ausgeschieden, und dafür Sauerstoff aufgenommen. Hier wird also die Luft reich an Kohlensäure und arm an Sauerstoff, während sie ausserhalb reich an Sauerstoff und arm an Kohlensäure ist. Es tritt infolge dessen ein Diffusionsvorgang

Fig. 7.



Tracheensystem der Biene. Bau der Tracheen.
Photographie nach dem Wandbild.

ein, der eine doppelte Strömung in den Tracheen hervorruft, nämlich Einströmen von Sauerstoff und Ausströmen von Kohlensäure. Dieser Vorgang wird unterstützt durch den Athembewegungen der Wirbelthiere vergleichbare Leibesbewegungen, bei denen die Tracheen um ein Geringes zusammengepresst werden und sich federnd wieder erweitern, ausserdem auch durch active Bewegung der Stigmenapparate. Auch in den Lungen der höheren Wierbelthiere

---

Lungen der höheren Wirbelthiere: Vgl. Anm. u. Zusätze 29.

findet zwischen den letzten Endigungen der Bronchien und den Alveolen ein ebensolcher Diffusionsprocess statt.

Vollends bei den Pflanzen geschieht die Athmung ausschliesslich durch Aërodiffusion, weil bei ihnen die Unterstützung der Luftströmung durch Bewegungen nicht in Frage kommt. Die Spaltöffnungen der Blätter communiciren mit einer unter der Oberhaut gelegenen Athemhöhle, und zwischen dieser und der Atmosphäre findet der Gaswechsel nach den Gesetzen der Diffusion statt.

Bei den Vögeln wird wahrscheinlich auf ähnliche Weise die Luft in den Luftsäcken und den pneumatischen Knochen ersetzt. Die Lufthöhlen der Knochen nehmen nachweislich an der Athmung theil, der Vortheil, den sie dem Organismus bieten, ist also ein zweifacher: erstens ist der Knochen bei gleicher Grösse leichter, zweitens wird der Athmungsraum vergrössert.

Endlich giebt es auch bei den höheren Thieren und beim Menschen zweifellos Stellen, an denen der Luftwechsel durch Diffusion eine Rolle spielt, zum Beispiel die lufthaltigen Räume des Siebbeins, die Stirnhöhlen, Keilbeinhöhle, Highmorshöhle u. a. m.

Lange Zeit hindurch wurde auch zwischen dem bekanntlich am stumpfen Ende der Hühnereier befindlichen Luftraume und der äusseren Luft ein Diffusionsvorgang angenommen. Aeltere Beobachter hatten in diesem Raume eine besonders sauerstoffreiche Luft zu finden geglaubt. Dies liess sich erklären, indem man annahm, dass bei der durch Wasserverlust bedingten Schrumpfung des Inhalts die atmosphärische Luft durch die Schale eindringe, wobei man dem Sauerstoff die Fähigkeit zuschrieb, schneller durchzudringen. Versuche von Hüfner lehrten aber, dass erstens der Sauerstoff von allen Bestandtheilen der Luft

---

Hüfner: Beitrag zur Lehre von der Athmung der Eier. Arch. f. Physiol. 1892. S. 467.

am langsamsten durch Eierschalen hindurchgeht, und dass ausserdem in Wirklichkeit die Luft des Eischalenraumes überhaupt gar nicht besonders sauerstoffreich ist.

In allen diesen Fällen ist indessen der Vorgang der Aërodiffusion unbedeutend im Vergleich zu Diffusionserscheinungen anderer Art, die den grössten Theil des Stoffwechsels im Thier- und Pflanzenkörper ausmachen.

Von der kinetischen Theorie der Gase.

Bis in die neuere Zeit hat man die Erscheinungen der Aërodiffusion mit wenigen Ausnahmen dadurch zu erklären gesucht, dass die Moleküle der Gase sich gegenseitig abstiessen. Bekanntlich haben die Gase die Eigenthümlichkeit, dass sie sich nur durch äussere Kräfte auf einen bestimmten Raum beschränken lassen. Jedes Gas zeigt sein Bestreben zu zerstieben durch den Druck, den es fortwährend auf die Wände des Gefässes nach allen Seiten hin ausübt. (Wohl zu unterscheiden von der Schwere, die nur in der Richtung nach dem Mittelpunkt der Erde hin wirkt.) Der Druck wächst nach dem MARIOTTE'schen Gesetz umgekehrt proportional dem Raum, in den man das Gas presst. Der Druck wächst auch mit der Zunahme der Temperatur in einem complicirten Verhältniss. Alle diese Eigenschaften der Gase lassen sich durch die beim ersten Blick paradoxe Hypothese erklären, dass die Theil-

Moleküle der Gase: Nach CLERK MAXWELL, Phil. Transact. of the Royal Soc. 1867, p. 51, würde die abstossende Kraft im umgekehrten Verhältniss zur fünften Potenz der Entfernung stehen müssen.

Paradoxe Hypothese: Doch erklärt schon DANIEL BERNOULLI 1738 so den Druck der Luft auf Flüssigkeiten. Vgl. Pogg. Ann. 107. 1858. S. 490.

chen der Gase in fortwährender Bewegung sind, jedes einzelne also, wenn es nirgends anstiesse noch angezogen würde, mit gleichbleibender Geschwindigkeit ins Unendliche fortfliegen würde. Wenn die Theilchen aufeinandertreffen, prallen sie mit vollkommener Elasticität zurück. Auch der Druck, den ein eingeschlossenes Gasvolum auf die Wände des Gefässes ausübt, wird durch diese Hypothese erklärt. Wie man eine Klappe, die zufallen will, daran verhindern kann, nicht allein durch stetiges Entgegenstemmen des Armes, sondern auch durch eine Anzahl von Schlägen, die man in richtig abgemessenen Zeiträumen dagegen führt, so fingiren die Gastheilchen durch eine ungeheure Anzahl von Schlägen in der Zeiteinheit den stetigen Druck, den wir zu beobachten glauben. So paradox diese Hypothese scheint, ist sie doch unzweifelhaft richtig, denn die darauf gebauten Schlüsse stimmen vollkommen mit der Erfahrung. Durch eine sehr einfache Rechnung kann man nachweisen, dass unter dieser Voraussetzung in der That der Druck um so grösser sein muss, je kleiner das Volum des Gases gemacht wird. Wenn die Theilchen mit einer constanten Geschwindigkeit von einer Wand eines parallelepipedischen Kastens zur anderen hinfliegen, müssen sie die Wände um so öfter treffen, je näher diese aneinander sind, und um so stärker wird auch der Druck sein. Wenn man ausserdem erwägt, dass Wärme nachgewiesenermaassen kein imponderabler Stoff, sondern zweifelsohne mit Bewegung identisch ist, ein Aequivalent in mechanischer Arbeit, Elektricität, chemischen Processen hat, dass der Druck der Gase zunimmt mit ihrer freien Wärme, so ist ersichtlich, dass die Bewegung, die man den Gastheilchen zuschreibt, identisch ist mit ihrer Wärme, die gemessen wird durch die Summe der Energie ihrer sämmtlichen Gasmoleküle.

Die Masse der einzelnen Moleküle ist zwar für substantiell verschiedene Gase verschieden, aber grosse und kleine Moleküle (d. h. Moleküle von grosser und kleiner

Masse) besitzen (nach MAXWELL) einerlei Energie (oder lebendige Kraft) nach der Gleichung:

$$n \cdot \frac{mV^2}{2} = n \cdot \frac{Mv^2}{2}.$$

Dabei enthält das gleiche Volum von jedem Gas bei gleichem Druck und gleicher Temperatur dieselbe Anzahl (n) Moleküle.

CLAUSIUS hat unter gewissen Annahmen die mittlere Weglänge und die Geschwindigkeit der Moleküle für verschiedene Gase berechnet. Da 1 ccm Wasserstoff bei 0° und 760 mm Druck 0,00008954 g wiegt, müssen sich seine Theilchen mit einer Geschwindigkeit von 1844 m in 1 Sek. (also 110,64 km = 15 Meilen in der Minute) bewegen, um durch ihren Stoss den äusseren Druck des Gases hervorzubringen. Für andere Gase ergeben sich die Geschwindigkeiten:

O . . .	461	m in 1 Sek.
CO . . .	497	
CO_2 . . .	396	
NH_3 . . .	600	

also Geschwindigkeiten von der Grössenordnung, die durch die Geschwindigkeiten moderner Geschosse gegeben ist: artilleristische Geschwindigkeiten. Bewegten sich also alle Theilchen in der gleichen Richtung, so würde den von dem Gase erfüllten Raum ein Sturm durchwehen, gleich dem Windstoss, der aus der Kanonenmündung fährt. Aber die Moleküle bewegen sich nach allen Richtungen gleichmässig durcheinander, sie treffen aufeinander, lenken sich gegenseitig von der gradlinigen Bahn ab und prallen voneinander zurück. Ihre Bewegung wird dadurch der Bewegung eines gejagten Hasen vergleichbar, der im Laufen

---

Dieselbe Anzahl Moleküle: GAY-LUSSAC's Gesetz der Aequivalenz der Gasvolume.*

Geschwindigkeiten: Vgl. Anm. u. Zusätze 30.

Kanonenmündung: Denn natürlich bewegen sich die Pulvergase mit der gleichen Geschwindigkeit wie das Geschoss.

Kreuz- und Quersprünge macht, um dem Hunde die Spur zu verschlagen. Ammoniak im entferntesten Punkte eines Zimmers würde augenblicklich zu riechen sein, wenn der Raum leer wäre, sodass sich die Ammoniakmoleküle mit ihrer vollen Geschwindigkeit geradeaus bewegen könnten. Aber sie werden so oft von ihrem Wege abgelenkt, dass sie, obschon sie sehr schnell sich bewegen, doch nicht so schnell von der Stelle kommen. Etwa wie Bienen in einem Schwarm, der an Ort und Stelle bleibt oder sich langsam bewegt, schwirren auch die Massentheilchen in einem ruhenden Gase, wie zum Beispiel in vollständig ruhiger Luft fortwährend mit derselben Schnelligkeit durcheinander. Die Zusammenstösse erfolgen so oft, dass der mittlere Weg, den ein Molekül zurücklegt ohne ein anderes zu treffen, erstaunlich kurz ist. Die Zahl der Zusammenstösse in einer Secunde, und die sich daraus ergebenden mittleren Weglängen für die verschiedenen Gase sind folgende:

H	O	CO	CO_2	
17750	7646	9489	9720	Millionen Zusammenstösse
965	560	482	379	Zehnmilliontel Millimeter.

Die Weglängen betragen also etwa den zehnten Theil der mittleren Wellenlänge des Lichts: Weglänge für Sauerstoffmolekül = 0,000056 mm, λ_D = 0,00059 mm.

Aus dieser Anschauung von der Natur der Gase erklärt sich das von Dalton aufgestellte Princip, dass nur die Theilchen eines und desselben Gases, nicht aber die Theilchen zweier verschiedener Gase aufeinander einen Druck ausüben, folgendermaassen: Ist ein Gasvolum von Massen desselben Gases umgeben, oder ist eine in einem Gefäss eingeschlossene Gasmasse an einer Oeffnung durch eine unter demselben Druck stehende Masse desselben Gases anscheinend abgesperrt, so besteht zwar ein dauernder Austausch der bewegten Moleküle, da aber auf beiden Seiten die gleichen Bedingungen herrschen, so tritt keine merkliche Aenderung des Zustandes ein. Handelt es sich dagegen um zwei verschiedene Gase, so treffen von beiden

Seiten verschiedenartige Moleküle aufeinander, und die stattfindende Vermengung lässt sich nachweisen.

Es ist leicht einzusehen, warum unter diesen Umständen die in der Zeiteinheit durch feine Oeffnungen hindurchtretenden Gasmengen sich umgekehrt proportional zur Quadratwurzel der Dichte verhalten müssen, da dies eben das Verhältniss der molekularen Geschwindigkeiten ist.

Zwischen horizontal sich bewegenden Luftschichten, zwischen heisser und kalter Luft findet selbstverständlich ebenfalls eine Mischung der Theilchen, also Diffusion, statt. Die Leitung der Wärme in Gasen beruht grossentheils auf einer solchen Diffusion, bei der gleichzeitig Materie, Druck und Energie ausgeglichen wird (Wärmeleitung durch „Convection").

Auch in tropfbaren Flüssigkeiten finden dieselben Diffusionsvorgänge statt, aber es kommt nicht zu einer so freien Bewegung, weil die Molekeln stets im Zustande realer Begegnung mit den andern Molekeln sind. Daher tritt hier die Diffusion der Materie gegenüber der der Bewegung zurück. Nach den Untersuchungen von Voit und Loschmidt über die Diffusion von Zuckerlösungen, wandert die Materie in tropfbar flüssigen Körpern in einem Tage etwa soweit, wie in Gasen in einer Secunde, sie bewegt sich also 86 400 mal langsamer. Die Wärme-Bewegung dagegen pflanzt sich viel schneller fort, nur etwa 10 mal langsamer als bei Gasen.

Von der Adsorption.

Bei den bisherigen Erörterungen (mit Ausnahme derer über die Occlusion) war vorausgesetzt worden, dass die festen Körper nicht anders als durch Reibung auf die Gase einwirken. Diese Voraussetzung würde nicht in allen Fällen richtig sein.

Die festen Körper (und unstreitig auch die zeitweilige Oberfläche der tropfbarflüssigen) üben Anziehungen in unmessbar kleiner Entfernung aus, die zu den Erscheinungen der Adhäsion und Adsorption führen.

Ueber die Adhäsion zwischen festen Körpern stellte Mitscherlich folgenden Versuch an: Zwei möglichst vollkommen eben geschliffene Glas- oder Quarzplatten, die von aller Feuchtigkeit befreit sind, werden aufeinander gedrückt. Schon bei dem Grade der Annäherung, bei der die Berührungsfläche die Farbe des zweiten Newton'schen Ringes zeigte, trug eine die andere, die 14 g schwer war. War die Berührung beider Flächen so vollkommen, dass der grösste Theil im Schwarz des ersten Ringes erschien, so hielt das Plattenpaar eine Belastung von mehreren Pfunden aus, ohne voneinander zu weichen, selbst wenn der Versuch im Vacuum der Luftpumpe angestellt wurde.

Brailey beobachtete, dass aufeinandergelegte Spiegelglasplatten sich zu Einem Stücke vereinigten, sodass sie nicht mehr zu trennen waren und mit dem Diamanten wie Eine Scheibe geschnitten werden konnten. Auf dieselbe Weise haftet der Leim an Holz und Glas. Wird thierische Blase mit Leim auf Glas befestigt und dann gewaltsam abgerissen, so erfolgt die Trennung mitunter innerhalb des Glases, sodass ein Theil der Oberfläche mitgerissen wird. Es handelt sich dabei um dieselbe Kraft, die im Innern der festen Körper deren Zusammenhalten bedingt. Das Verschweissen von Eisen und von Glas, das Zusammenkneten von Wachs, Thon, frischen Schnittflächen von Blei schliesst sich hier an.

Adsorption: Einführung dieses Ausdrucks bei Frankenheim, Lehre von der Cohäsion. Breslau 1835. S. 158.

Newton'schen Ringes: Diese Angaben bezeichnen Abstände von 100 bis 200 Milliontel Millimeter. Vgl. Kohlrausch, Leitf. der prakt. Phys. 1892. Tab. 20a. und Müller-Pouillet. 9. Aufl., II, 1. S. 907.

Zu Einem Stück: Vgl. Anm. u. Zusätze 31.

Diese Anziehung ist auch tropfbarflüssigen Körpern gegenüber wirksam, und soll später beim Capitel der Capillarität erörtert werden.

Ebenso werden aber auch gasförmige Körper an den Oberflächen fester Körper angezogen oder adsorbirt, so dass man sagen kann, alle festen Körper seien mit einer condensirten Atmosphäre derjenigen Gase überzogen, die sich ihnen darboten.

Natürlich wird die Menge des adsorbirten Gases um so grösser sein, je grösser die Oberfläche des festen Körpers ist, je leichter sich das Gas condensiren lässt, je grösser die specifische Anziehung zwischen dem Gase und dem festen Körper, je niedriger die Temperatur und je reiner die Oberfläche. Daher sind unter den bekannten Gasen Ammoniak, Chlorwasserstoff, Kohlensäure, schweflige Säure am stärksten adsorbirbar, und daher ist das Phänomen am ausgeprägtesten bei porösen Körpern, wie bei Kohle und bei Platinschwamm oder Platinmohr.

Hierüber hat SAUSSURE einen Versuch gemacht, den EILH. MITSCHERLICH discutirt. Die Zellen in Buxbaumkohle haben 0,0113 mm Durchmesser, würden also in 1 ccm Kohle eine Oberfläche von fast 1,5 qm darbieten, wenn die Kohle selbst keinen Raum einnähme. Wird ein Stück solcher Kohle von 0,9565 g Trockengewicht in Wasser gekocht, so wiegt es 2,2585 g und unter Wasser 0,110 g. Also sind $^5/_8$ des Volums von Wasser eingenommen. Die wirkliche Oberfläche beträgt demnach nur $^5/_8$ von 1,5 qm oder 0,9 qm. TH. DE SAUSSURE fand, dass bei 12° und 26,895 P.Z. Barometerstand ein Raumtheil Kohle 35 Raumtheile Kohlensäure adsorbirt, diese müssen dann auf $^5/_8$ des Raumes zusammengedrängt sein, und folglich auf das $\frac{8 \times 35}{5} = 8 \times 7 = 56$ fache verdichtet sein.

Condensirten Atmosphäre: Vgl. Anm. u. Zusätze 32.
Schweflige Säure: Vgl. Anm. u. Zusätze 33.
Mitscherlich: Pogg. Ann. 55. 1853. S. 205.

Nun wird bei 12° Kohlensäure durch den Druck von 36,7 Atmosphären verflüssigt,

bei —20° durch 28 Atmosphären
„ 0° „ 36 „
„ +30° „ 73 „

Es muss also bei der Verdichtung der adsorbirten Kohlensäure auf $^1/_{56}$ ihres Volums mehr als der dritte Theil in tropfbarflüssigem Zustand sein, und würde dann auf der Oberfläche von 0,9 qm eine Schicht von 0,000054 mm Dicke bilden.

Bei Ammoniak, Chlorwasserstoff, schwefliger Säure muss diese in flüssigem Zustande befindliche Schicht viel dicker sein. Die Anziehung muss also auch in grössere Entfernung reichen.

Die Adsorption von Gasen in porösem Material lässt sich durch folgenden Versuch sehr schön demonstriren: In ein über Quecksilber umgestülptes mit einem leicht condensirbaren Gase, etwa Ammoniakgas, gefülltes Glasgefäss, bringt man ein Stückchen frisch ausgeglühter Holzkohle. In dem Maasse, wie das in dem Gefässe enthaltene Gas von der Kohle adsorbirt und verdichtet wird, dringt das Quecksilber, von unten aufsteigend in das Gefäss ein.

Eine viel feinere Vertheilung der festen Substanz und damit intensivere Wirkung lässt sich beim Platin erreichen. Durch Glühen von Platinsalmiak (NH_4PtCl_6) erhält man Platinschwamm, der ausserordentlich porös ist. Wenn Platinchlorid mit Schwefelwasserstoff gefällt und das entstehende Platinsulfid der Luft ausgesetzt wird, so oxydirt sich der Schwefel zu schwefliger Säure, und es bleibt der sogenannte Platinmohr zurück. Von diesem vermag 1 ccm das 745fache Volum Sauerstoff aufzunehmen. Da-

---

Kohlensäure verflüssigt: Vgl. Anm. u. Zusätze 34.

Platinmohr: Vgl. Anm. u. Zusätze 35.

745fache Volum Sauerstoff: Holzkohle adsorbirt nur 9mal ihr Volum Sauerstoff.

bei ergiebt die Berechnung der Oberfläche annähernd 1000 qm, wenn man annimmt, dass die Platinmoleküle nicht grösser seien als die des Wassers, die nach Beobachtungen an Seifenblasen nicht grösser sein können als 0,000 000 1 mm. Da THOMSON und TAIT das Minimum auf ein Zwanzigmillionstel Millimeter schätzen, so wäre, nebenbei bemerkt, die Grösse der Moleküle ziemlich sicher anzugeben. So nahe die Grössenordnung dieser Zahlen an die Messbarkeit heranzukommen scheint, dürften sich bei dieser Annahme, also bei einer Billion Moleküle im Cubikmillimeter, selbst so complicirte Erscheinungen, wie die Erblichkeit, durch die Constitution der Materie erklären lassen.

Beim Adsorbiren der Kohlensäure durch Holzkohle entsteht nach FAVRE und SILBERMANN Wärme, und zwar mehr, als beim Ueberführen in den festen Zustand frei werden würde. Diese Wärmeproduction ist auf die Reibung beim Einströmen des Gases zurückzuführen.

Die Wärmeentwicklung bei der Condensation durch Platin in fein vertheiltem Zustande führt häufig sogar zum Erglühen des Platins. Hierauf beruht die DÖBEREINER'sche Zündmaschine, bei der ein Knallgasgemisch durch das Erglühen des Platinschwammes entzündet wird. Ebenso wie in diesem Falle H_2 und O zu H_2O vereinigt wird, finden bei der sogenannten Contactwirkung bei Gegenwart einer constanten Menge einer porösen Substanz, wie z. B. Platin, chemische Veränderungen in beliebigen Mengen gewisser Stoffe statt:

Uebersicht einiger Contactwirkungen:

Platinschwamm	H und O zu H_2O
etc.	SO_2 und O zu SO_3
	NH_3 und O zu HNO_3 und H_2O

Berechnung der Oberfläche: Vgl. Anm. u. Zusätze 36.
Erglühen des Platinschwammes: Vgl. auch Anm. u. Zusätze 21.
Beliebigen Mengen: Vgl. Anm. u. Zusätze 37.

	H_2O_2 zu H_2O und O
	C_2H_6O und O zu $C_2H_4O_2$ und H_2O
Schwefelsäure	C_2H_6O zu $(C_2H_5)_2O + H_2O$
Diastase	Cellulose zu Stärke
	Dextrin zu Zucker
Emulsin (Synaptase)	Amygdalin zu Bittermandelöl
Myrosin	Myronsaures Kali zu Senföl und Zucker.

Dass nicht bloss gewisse fein vertheilte Stoffe Gas anziehen, sondern jede beliebige Oberfläche mit einer an ihr haftenden Gasschicht bedeckt ist, kann ein sehr einfacher Versuch zeigen. Wenn man etwa mit einem harten trockenen Holzspahn (Spindelbaumstift) auf einer Glasplatte schreibt, und nachher auf die Scheibe haucht, wird die Schrift sichtbar. Wo schon eine Gasmenge condensirt ist, schlägt sich nämlich eine andere schwer nieder. An der Stelle, wo der Spahn die adsorbirte Gasschicht losgemacht hat, condensirt sich daher das Wasser des Hauches in einer zusammenhängenden durchsichtigen Schicht, während sich der übrige Theil der Fläche in bekannter Weise durch feine Bläschen trübt. Dies ist nach P. Riess besonders deutlich an Glimmerblättchen zu erkennen, die eben erst von einer grösseren Tafel abgespalten worden sind, sodass sie eine vollkommen frische Oberfläche darbieten. Auf dieser Fläche, die seit der Entstehung des Glimmers vor Millionen Jahren zum ersten Male mit der atmosphärischen Luft in Berührung kommt, verdichtet sich der Hauch, wie man durch das Mikroskop nachweisen kann, nicht zu einzelnen Tröpfchen, sondern zu einer zusammenhängenden Schicht. Der Glimmer bleibt daher, so lange er frisch ist, beim Anhauchen klar und vermag vermöge der zusammenhängenden Wasserschicht elektrische Ströme zu leiten. Nach wenigen Stunden schon verliert sich diese Eigenschaft, und dann trübt sich die Oberfläche durch den Hauch, wie jede andere.

P. Riess: Ueber eine merkwürdige Eigenschaft des Glimmers. Pogg. Ann. 67. 1846. S. 354.

Besonders interessant ist eine andere Erscheinung dieser Art, die unter dem Namen der MOSER'schen Bilder bekannt ist. MOSER fand, dass die für das DAGUERRE'sche photographische Verfahren hergerichteten lichtempfindlichen Silberplatten von beliebigen, auf sie gelegten Körpern eine Abbildung gaben. Am schönsten liess sich dies an gravirten Stempelplatten oder vertieft geschnittenen Steinen zeigen, deren ganze Zeichnung auf der Platte erschien, wenn man sie, wie dies zum Hervorrufen des Bildes beim DAGUERRE'schen Verfahren geschieht, Quecksilberdämpfen aussetzte. Sogar wenn der betreffende Gegenstand die Platte nicht unmittelbar berührte, liess er doch sein Abbild darauf zurück. Der Vorstellung, als handle es sich dabei um eine eigenthümliche Art der Lichtausstrahlung, von der sich MOSER nicht frei gehalten hatte, trat WAIDELE mit einer Reihe schlagender Versuche entgegen. Er zeigte zunächst, dass eine Silberplatte, die durch Putzen mit ausgeglühtem Tripel wirklich rein, also auch von der an ihr haftenden Gasatmosphäre frei gemacht ist, sich beim Behauchen von einer an der Luft belassenen Platte unterscheidet. Gepulverte Substanzen, und in geringerem Maasse Oberflächen jeder Art, sind, sofern sie nicht frisch geglüht sind, stets mit condensirten Gasen beladen. Frisch geglühte, freie Oberflächen ziehen die Gase aus ihrer Umgebung an sich. Bringt man also einen Körper, an dessen Oberfläche eine Gasschicht haftet, mit einer reinen Platte in Berührung, so wird diese an der Berührungsstelle Gas condensiren, und es wird sich beim Behauchen, noch deutlicher beim DAGUERRE'schen Verfahren, ein Bild des berührenden Körpers zeigen. Glüht man aber einen Metallstempel, wie ihn MOSER zu seinen Versuchen gebrauchte, aus, oder reinigt ihn vor dem Versuch mit ausgeglühtem

---

Moser: Ueber den Process des Sehens und die Wirkung des Lichts auf alle Körper. Pogg. Ann. 56. 1842. S. 177.

Waidele: Versuche und Beobachtungen über Prof. MOSER's unsichtbares Licht. Pogg. Ann. 59. 1843. S. 255.

Kohlenpulver, das seine Gasatmosphäre an sich reisst, so wirkt er auch nicht mehr auf die Platte.

Diese Versuche, die von FIZEAU weitergeführt wurden, begründeten eine rein physikalische Theorie des DAGUERREschen Verfahrens.

Jedermann weiss aus eigner Anschauung, dass sich Gerüche der umgebenden Luft besonders an feinvertheilter Materie, an Haaren, Geweben und so weiter festsetzen. STENHOUSE hat eine praktische Anwendung der Adsorptionsfähigkeit poröser Stoffe gelehrt, indem er Cadaver von Katzen und Hunden, in Kohlenpulver (Holzkohlengrus) gebettet, in seinem Arbeitszimmer aufbewahrte. Nach einem Jahre waren alle Weichtheile durch Fäulnis aufgezehrt, ohne dass während dieser Zeit eine Spur von Geruch zu bemerken gewesen wäre, weil die übelriechenden Gase von der Kohle festgehalten wurden.

Da die Adsorption auch unter Wasser stattfindet, kann man durch Pigmente gefärbtes, oder auf beliebige Art verunreinigtes Wasser durch reichlich eingeschüttetes Kohlenpulver reinigen. Die Kohle zieht beispielsweise das Fuselöl (Amylalkohol) aus einer wässerigen Lösung, und man kann es alsdann aus dem Kohleschlamm abdestilliren. Ebenso verdichtet sie gelöstes Salz, sodass man aus Seewasser mittelst Kohle Süsswasser erhalten kann. MITSCHERLICH wies diese Wirkung nach, indem er Bariumnitrat [$Ba(NO_3)_2$] in 10 Theilen Wasser löste, und die Hälfte durch Schwefelsäure fällte. Die Flüssigkeit über dem Niederschlag enthält dann $^2/_3$ des Bariumnitrats, $^1/_3$ haftet durch Flächenanziehung an dem Niederschlage, wegen der Dichte des Schwerspaths, die 4,4—4,8 beträgt.

Die Wirkung der Humuserde ist in neuerer Zeit auch

Gerüche der umgebenden Luft: Vgl. Anm. u. Zusätze 38.
Stenhouse: Vgl. Anm. u. Zusätze 39.
Mitscherlich's Versuch: Pogg. Ann. 55. 1833. S. 214.
Humuserde: Vgl. J. v. LIEBIG in Abh. d. nat.-techn. Comm. d. k. bayr. Acad. d. Wiss. München 1858.

auf die adsorbirende Eigenschaft der darin enthaltenen fein vertheilten Pflanzentheile zurückgeführt worden. Diese halten eine grosse Menge Kohlensäure adsorbirt, die für den Aufbau der Pflanzenkörper nothwendig ist, und indem sich diese Kohlensäure in der Feuchtigkeit des Bodens löst, wird den Pflanzen die Mühe erspart, ihr Kohlensäurebedürfniss aus der Kohlensäure der Atmosphäre zu bestreiten.

Ebenso wie von festen Körpern werden die Gase auch von der Oberfläche von Flüssigkeiten angezogen. Die Wirkung des Windes auf die Wellen sollte hierdurch erklärt werden. Eine die Innenfläche einer Röhre benetzende Flüssigkeitsschicht wird durch Hindurchblasen in Bewegung gesetzt. Trennt man Wind und Wasser durch eine Oelschicht, so werden die Wellen gestillt. Benjamin Franklin liebte es, diesen Versuch zu zeigen, dem er eine grosse Wichtigkeit zuschrieb, um Schiffbrüchige zu retten, und führte, um ihn jederzeit ausführen zu können, Oel bei sich im Knopfe seines Spazierstocks. Wallfischfänger erkennen in weiter Ferne die Gegenwart eines Wallfisches an der durch die thranige Haut geglätteten Stelle.

Von der Absorption der Gase durch Flüssigkeiten (Insorption).

Auf die Adsorption der Gase an der Oberfläche von Flüssigkeiten mag nun die Absorption oder besser Insorption der Gase ins Innere der Flüssigkeiten folgen. Dies ist der Fall, der unter allen, die hier behandelt werden, physiologisch am wichtigsten ist, weil er die Grundlage der Athmungsvorgänge bildet.

Die Insorption kann in doppelter Art stattfinden, als

Benjamin Franklin: Vgl. Anm. u. Zusätze 40.

physikalische und chemische. Das Kriterium für die chemische Insorption ist, dass sie vom Druck und innerhalb weiter Grenzen auch von der Temperatur unabhängig ist.

Beispiele hierfür sind die Insorption von Kohlensäure durch Kali- oder Natronlauge und durch Kalk- oder Barytwasser, die bekanntlich bei Elementaranalysen und Athmungsversuchen zur Bestimmung der Kohlensäure benutzt wird.

Ebenso werden selbstverständlich auch andere saure Gase, wie Salzsäure, durch alkalische Flüssigkeiten chemisch insorbirt. Sauerstoff wird von alkalischer Pyrogallussäurelösung gebunden, die sich dabei tief schwarz färbt.

Dies ist Liebig's Verfahren zur eudiometrischen Bestimmung des Sauerstoffs.

Die trocknenden Oele nehmen in ähnlicher Weise, nur viel langsamer, Sauerstoff auf, indem sie „verharzen".

In allen diesen Fällen geht die Flüssigkeit oder eine in ihr gelöste Substanz mit dem über ihr stehenden Gase Verbindungen ein, es wird daher nicht mehr und nicht weniger Gas absorbirt, als zur Sättigung der in der Flüssigkeit vorhandenen Substanz erforderlich ist, ganz unabhängig vom Druck.

Die chemische Absorption kann daher auch nur auf chemischem Wege oder durch Erhöhung der Temperatur rückgängig gemacht werden.

Im Gegensatz zur chemischen Absorption erkannte zuerst Priestley die physikalische Absorption als den rein physikalischen Act des Eindringens eines Gases in eine tropfbare Flüssigkeit. Dieser Vorgang hat Aehnlichkeit mit dem der Lösung fester Stoffe in Flüssigkeiten, um so mehr als er auch von der Temperatur abhängig ist. Aber er ist doch nicht identisch mit Lösung, als

---

Liebig's Verfahren: Für genauere Bestimmungen nicht anwendbar, weil gleichzeitig ein wenig Kohlenoxydgas entsteht.

welche er früher fälschlich aufgefasst wurde, denn die von der Volumeinheit der Flüssigkeit aufgenommene Gasmenge ist abhängig vom Druck. Dies ist das Bezeichnende für die physikalische Absorption.

Ueber das Wesen der physikalischen Absorption von Gasen in Flüssigkeit sind zwei Theorien zunächst möglich: Entweder das Gas dringt durch seine Expansivkraft in die Zwischenräume der Flüssigkeitsmoleküle ein oder die tropfbare Flüssigkeit übt Anziehungskräfte auf die elastische aus, durch die sie die Theilchen der letzteren in ihre eigenen Hohlräume hineinzwängt. Die zweite Anschauung ist die richtige. Die erste muss falsch sein, weil sonst nicht mehr als Ein Raumtheil des Gases aufgenommen werden könnte, und weil dann auch die expansiveren Gase (wie Wasserstoff) im höheren Maasse absorbirt werden müssten als andere (wie Kohlensäure), wovon das Gegentheil in Wirklichkeit stattfindet.

Man hat es also mit einer Anziehung zu thun. Von einer gasfreien Flüssigkeitsmenge, die mit einem Gase in Berührung ist, wird das Gas angezogen und sättigt die oberste Schicht. Dann entzieht die daran grenzende Schicht der obersten einen Theil des absorbirten Gases, worauf diese von neuem Gas anzuziehen vermag, und dieser Vorgang schreitet von oben nach unten fort, bis die gesammte Flüssigkeitsmenge die ihr zukommende Gasmenge absorbirt hat.

Das typische Beispiel, an dem sich die Erscheinung der Absorption am deutlichsten zeigt, ist die Absorption von Ammoniakgas durch Wasser. Ein langhalsiger wohlverkorkter Glaskolben voll Ammoniakgas wird mit der Oeffnung unter Wasser gebracht, und der Kork herausgezogen. Sofort verschluckt das Wasser das Ammoniakgas mit so grosser Geschwindigkeit, dass es als ein Springbrunnen durch den Hals in die Höhlung des Kolbens hin-

---

Absorption von Ammoniakgas: Vgl. Anm. u. Zusätze 41.

aufschiesst und sogar durch seinen Anprall die Glaswand zertrümmern kann.

In ähnlicher Weise, nur weniger stürmisch, verläuft die Absorption von Kohlensäure durch Wasser, die man zur Anschauung bringen kann, indem man in ein durch Quecksilber abgesperrtes Reagensglas voll Kohlensäure ein Stückchen Eis einschiebt. Das Eis schmilzt und durch die Absorption der Kohlensäure im Schmelzwasser entsteht ein leerer Raum, in den das Quecksilber hinaufsteigt, gerade so wie bei dem oben erwähnten Versuch über Adsorption des Ammoniaks durch Kohle.

Die Intensität der Absorption hängt von einer Reihe verschiedener Umstände ab. Ihr Gesetz wurde von William Henry (in Manchester) und Dalton erkannt, aber erst durch Bunsen mit Schärfe bewiesen, dessen Schüler Carius und Schönfeld seine Versuche weiter führten und auf verschiedene andere Gase ausdehnten.

Das Dalton-Henry-Bunsen'sche Gesetz besagt nun: Die Gasmenge, die von einer Flüssigkeit physikalisch absorbirt werden kann, ist proportional

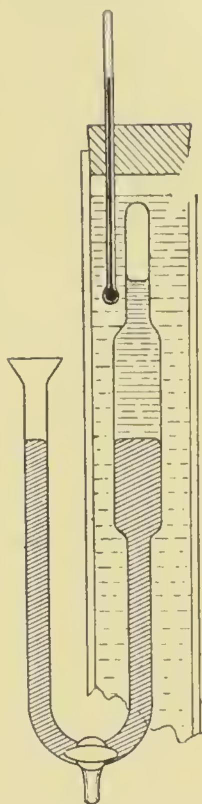
1. der Menge absorbirender Flüssigkeit,
2. dem Enddruck, unter dem das Gas nach der Absorption steht,
3. dem Absorptionscoëfficienten, der für jede Flüssigkeit, jedes Gas und jede Temperatur verschieden ist.

Die Aufgabe, den Absorptionscoëfficienten zu finden, trifft überein mit der Aufgabe, zu bestimmen, welche reducirte Gasmenge von der Volumeneinheit Flüssigkeit aufgenommen wird. Hierzu dient das Absorptiometer von Bunsen. Es besteht aus einer U-förmigen Röhre, deren einer Schenkel oben geschlossen und mit einer Maasstheilung versehen ist. In diesen Schenkel wird das Wasser eingefüllt und durch Quecksilber abgesperrt. Dann wird

---

Absorptiometer: Vgl. Anm. u. Zusätze 42.

Fig. 8.



Absorptiometer.

das Gas zugeleitet, und nachdem die Absorption stattgefunden hat, bei ausgeglichenem Stande des Quecksilbers das absorbirte Volum mittelst Kathetometers abgelesen. Zur Controle der Temperatur ist das Messrohr von einer weiteren Umhüllungsröhre umgeben, die ein Thermometer enthält. Durch Schütteln während der Absorption wird die absorbirende Oberfläche erneut und vergrössert. Das Wasser muss absolut gasfrei sein, was durch langes Sieden erreicht wird.

Es erscheint aber überflüssig, wie Bunsen es thut, das Volum des absorbirten Gases auf Normaldruck zu reduciren, denn in praxi giebt jeder Druck dasselbe Volum. Je grösser der Druck ist, desto grösser ist auch die absorbirte Menge, aber desto kleiner auch verhältnissmässig ihr Volum. Also ist das absorbirte Volum für alle Drücke constant. Daher definirte auch Magnus den Absorptions-

coëfficienten als das constante Volum des unter beliebigem Drucke absorbirten Gases, bezogen auf das Volum der absorbirten Flüssigkeit als Einheit.

Der Einfluss der Temperatur auf die Absorption ist im Allgemeinen der, dass mit steigender Temperatur der Absorptionscoëfficient abnimmt, und bei der Siedehitze der absorbirenden Flüssigkeit gleich Null wird. Umgekehrt beobachtet man, dass der sogenannte „Champagne frappé“, eiskalter Champagner, nicht schäumt, dass ebenso zu kaltes Bier schaal ist, weil die Kohlensäure darin festgehalten wird.

Die Abhängigkeit der Absorptionsfähigkeit von der Temperatur ist verschieden für verschiedene Flüssigkeiten und Gase. Für Wasser und Wasserstoffgas, für Alkohol und Sauerstoffgas ist die Absorption zwischen 0° und 15° von der Temperatur unabhängig.

Untersucht man die Absorption verschiedener Gase, so zeigt sich, dass die compressibleren Gase stärker absorbirt werden. So fand Schönfeld für die Absorption in Wasser bei 15°:

Cl	2,3681
H_2S	3,2326
SO_2	46,304
HCl	516,000
NH_3	727,22

Von verschiedenen Flüssigkeiten ist zunächst nur der Alkohol untersucht worden. Schon Th. de Saussure kannte sein stärkeres Absorptionsvermögen. Schönfeld fand:

SO_2 in Wasser . . .	46,304
SO_2 in Alcohol . . .	144,13.

Klebrige Flüssigkeiten (unechte Lösungen, colloïdale Flüssigkeiten) bedürfen längere Zeit um sich mit einem Gase zu sättigen, und absorbiren weniger. Eine Lösung

---

Absorptionscoëfficient abnimmt: zwischen 0° und 20° nach der Formel $\alpha = a - bt + ct^2$.

Schönfeld: Vgl. Anm. u. Zusätze 43.

von 25 Theilen arabischen Gummis auf 100, von 1,092 Dichte, absorbirte nur 0,75, eine ebensolche Zuckerlösung von 1,104 Dichte nur 0,72 Volum Kohlensäure. Steinöl, Lavendelöl, Olivenöl absorbiren dagegen viel mehr Kohlensäure, als Wasser. Fast Null ist die Absorptionsfähigkeit gesättigter Salzlösungen, sodass man sie als Sperrflüssigkeiten verwenden kann, z. B. Kochsalzlösung, besser Chlorcalcium-Lösung.

Ein eigenthümlicher Fall ist der des „Spratzens" des Silbers. Wenn geschmolzenes Silber erkaltet, wirft es unter heftigem Geräusche Blasen, die mitunter beim Zerplatzen Tropfen des geschmolzenen Metalles emporschleudern. Samuel Lucas entdeckte, dass dies auf Sauerstoffinsorption beruhe, und dass das flüssige Silber 22 mal sein Volum (nach andern in einem mit glühenden Kohlen umgebenen Raum nur 12 Volume) von diesem Gase aufnehme, um es beim Erkalten wieder abzugeben. Auch Iridium spratzt. Als P. Erman scherzend fragte: Hat die Erde (bei der Abkühlung) gespratzt? dachte er nicht, dass Charles St. Claire Deville die Entstehung von Bimsstein durch Spratzen von Obsidian erklären würde.

Wie erfolgt nun die Absorption, wenn statt Eines einzigen Gases ein Gemenge von zwei oder mehr Gasen mit der Flüssigkeit in Berührung ist? Dies ist ein besonders wichtiger Fall, weil er für die Absorption der atmosphärischen Luft, als eines Gemenges verschiedener Gase, maassgebend ist.

Auch in diesem Falle gilt das Dalton-Henry'sche Gesetz, wonach die absorbirten Gasmengen proportional sind dem Absorptionscoëfficienten und dem Druck, unter dem das betreffende Gas steht. Es fragt sich nun, wie gross ist der Druck, unter dem ein Gas steht, das von einem Gasgemenge, dessen Gesammtdruck bekannt ist, einen bestimmten Theil bildet? Hier ist zu erinnern an

---

Spratzen: Vgl. Anm. u. Zusätze 44.

das obenerwähnte Gesetz von Dalton (nicht zu verwechseln mit dem Dalton-Henry'schen Gesetz) wonach zwei verschiedene Gase einander nicht absperren, auf einander keinen Druck ausüben können. Verschiedene Gase breiten sich in einem mit Gasen schon erfüllten Raum so aus, als ob sie allein darin wären, nur die Geschwindigkeit der Ausbreitung wird verzögert. Für die Absorption jedes einzelnen Gases aus einem Gemenge ist also offenbar nur der Druck in Rechnung zu bringen, der von dem Gase selbst ausgeübt wird, also derjenige Druck, den der betreffende Bestandtheil des Gasgemenges ausüben würde, wenn die übrigen Bestandtheile aus dem Raume entfernt wären. Dies ist der sogenannte „Partialdruck" des betreffenden Gases. Der Gesammtdruck eines Gasgemenges ist gleich der Summe der Partialdrucke der einzelnen Gase.

Thatsächlich beweisen die Versuchsergebnisse, dass von jedem einzelnen Gase eines Gemenges soviel absorbirt wird, als dem Absorptionscoëfficienten des betreffenden Gases und seinem Partialdrucke entspricht.

Auf dieses einfache Gesetz lassen sich unter andern die verwickelten Mengenverhältnisse der im Wasser der Seen und Flüsse enthaltenen atmosphärischen Gase zurückführen, von denen weiter unten die Rede sein wird.

Ein gutes Mittel, in das Wesen der Absorptionsvorgänge einzudringen, gewährt die Uebersicht über die verschiedenen Verfahren, durch die es möglich ist, Flüssigkeiten von den in ihnen absorbirten Gasen zu befreien. Viele von diesen haben überdies praktische Bedeutung.

1. Siedehitze. Die Wärme erhöht die Spannkraft des absorbirten Gases, und die entstehenden Dampfblasen

---

Ausbreitung wird verzögert: Mithin ist auch die häufig angewendete Fassung des Gesetzes: „Ein mit einem Gase erfüllter Raum ist für ein anderes Gas wie ein leerer Raum" nur richtig, sofern allein der Endzustand in Betracht kommt.

Partialdruck der einzelnen Gase: Vgl. Anm. u. Zusätze 45.

Einfache Gesetz: Vgl. Anm. u. Zusätze 46.

wirken auf die absorbirten Gase wie leere Räume, in welche die Gase zu entweichen trachten, weil der Partialdruck für das betreffende Gas in ihnen gleich Null ist. Ueberdies reissen die sich dampfförmig loslösenden Theilchen der Flüssigkeit überall Gastheilchen mit sich fort. — Ammoniak und Chlorwasserstoff sind übrigens durch Siedehitze nicht vollkommen aus Wasser auszutreiben.

Zur vollständigen Gewinnung der Blutgase hat Lothar Meyer das sinnreiche Mittel angegeben, das Blut im luftleeren Raum zum Sieden zu bringen. Da hierzu nur Erwärmung auf etwa 50° nöthig ist, wird die störende Gerinnung der Eiweissstoffe vermieden, die sonst schon lange vor dem Sieden eintreten müsste. Zugleich wird auch der noch grössere Fehler ausgeschlossen, dass sich die im Blute vorhandenen labilen organischen Verbindungen, wie Lecithin, Hämoglobin und andere, infolge der Erhitzung zersetzen und dadurch Gase entwickeln könnten. Durch geeignete Trockenmittel, concentrirte Schwefelsäure, Chlorcalcium, muss für Beseitigung des Wasserdampfes gesorgt sein, weil in einem Raum, der schon Wasserdampf enthält, andere Gase langsamer eintreten.

2. Gefrierenlassen. Das Eis erscheint fast immer blasig, weil im Wasser die atmospärischen Gase, Stickstoff, Sauerstoff, Kohlensäure, häufig auch Sumpfgas, absorbirt enthalten sind und beim Festwerden des Wassers entweichen. Dabei spielt Spitzenwirkung der sich bildenden Eiskrystalle eine Rolle.

3. Das Hindurchtreiben eines andern Gases ersetzt das Sieden, insofern jede hindurchgehende Blase als leerer Raum fungirt, in welchem der partiäre Druck gleich Null ist.

4. Aufhebung des Druckes durch Herstellung eines Vacuums mittelst der Luftpumpe (Quecksilber-Gaspumpe).

Lothar Meyer: Dissert. Würzburg 1857.

Im leeren Raum ist der Gesammtdruck, mithin auch der Partialdruck gleich Null.

5. Hinzufügung einer minder absorbirenden Substanz, zum Beispiel Zuckerlösung oder Salzlösung. Dadurch wird der Absorptionscoëfficient herabgesetzt. Schüttet man Zucker oder Salz in Wasser, so sieht man in der Regel, dass sich Gase entwickeln, wobei zur Wirkung der Lösung noch die „Spitzenwirkung" hinzukommt. Der Absorptionscoëfficient gesättigter Lösungen ist nahezu Null. Obschon Alkohol grössere Absorptionsfähigkeit für Kohlensäure besitzt als Wasser, treibt auch Alkoholzusatz die in Wasser absorbirte Kohlensäure aus, wegen der dabei stattfindenden Contraction und Erwärmung der Flüssigkeit.

6. Spitzenwirkung. Gepulvertes Glas in kohlensaures Wasser geschüttet, Brod in Champagner getaucht, ja schon Schmutzpartikelchen im spitzen Ende des Champagnerkelches bewirken Abscheidung der Kohlensäure. Diese Erscheinung, die sich auch bei der Krystallbildung geltend macht, ist noch unerklärt.

7. Erschüttern der Flüssigkeit macht ebenfalls die Gase frei, daher man Selterwasser- und Bierflaschen vor dem Einschenken gegen den Tisch zu stossen pflegt. Dieser Vorgang steht in scheinbarem Gegensatz zur Beschleunigung der Gas-Absorption durch Schütteln der Flüssigkeit. Man hat geglaubt annehmen zu dürfen, dass die Erschütterung der Lungen durch die Herzthätigkeit auf diese Weise zur rascheren Entbindung der Kohlensäure und des Wasserdampfes aus dem Lungenblut in die Alveolarluft beitrage.

Es giebt gewisse Fälle, in denen die chemische und die physikalische Absorption in einander übergehen. Wenn zum Beispiel eine Lösung von Aetznatron Kohlensäure aufnimmt, so entsteht zunächst durch Bindung eines Moleküls Kohlensäure das einfache Carbonat, dann durch Bin-

---

Herzthätigkeit: absurde Athmungstheorie.

dung eines zweiten Moleküls das doppeltkohlensaure Salz, Natriumbicarbonat. Dass die Kohlensäure in diesem Falle chemisch absorbirt ist, das heisst, dass sie sich mit dem Natron chemisch verbunden hat, lässt sich durch die Reaction beweisen. Natriumbicarbonat reagirt bekanntlich alkalisch, während physikalisch absorbirte Kohlensäure saure Reaction bedingt. Es scheint sich also um eine rein chemische Absorption zu handeln. Bei Aufhebung des Luftdrucks (auch bei Erwärmung) entweicht aber ein Molekül Kohlensäure aus der Verbindung, so dass das einfache Carbonat zurückbleibt. Also musste hier der physikalische Druck den chemischen Anziehungskräften zu Hülfe kommen, um das zweite Molekül zu fesseln.

Man nennt diese Form der lockeren Bindung eines oder mehrerer Moleküle eine dissociable Verbindung. Da durch Aenderung physikalischer Bedingungen, Temperatur oder Druck, der Zustand der Dissociation mit dem der Verbindung beliebig oft wechseln kann, handelt es sich offenbar um ein indifferentes Gleichgewicht der betreffenden Moleküle.

Donders hat gezeigt, dass die Blutgase mit Bestandtheilen des Blutes solche dissociable Verbindung eingehen. Er sagt darüber: „Dissociation ist das Auseinanderfallen eines oder mehrerer Moleküle eines Körpers in zwei oder mehr neue Moleküle von weniger complicirter Zusammensetzung, welche einander gleich sind oder nicht, oder auch die Reaction der Moleküle auf einander, so dass durch doppelte Zersetzung neue Moleküle entstanden sind. Das Kriterium ist hier, dass die Erscheinungen unter dem Einflusse einer bestimmten Temperatur erfolgen ohne Dazwischenkunft eines anderen Körpers." In dieser Definition der Dissociation im weitesten Sinne sind die Bedingungen angegeben, die beim Gaswechsel des Blutes

---

Der physikalische Druck: Vgl. Anm. u. Zusätze 47.

Donders: Der Chemismus der Athmung ein Dissociationsprocess. Pflüger's Archiv. 5. 1872. S. 20.

zutreffen. Donders lehrte durch den Versuch, dass in der That die Temperatur hierbei eine wichtige Rolle spiele, indem er zeigte, dass bei 37° Blutwärme durch Einleiten von Wasserstoffgas mehr Sauerstoff in 1 Sec. aus dem Blute freigemacht werden kann, als bei 1° in 1000 Sec.

Von der Rolle der Absorption in der Natur.

Das Wasser der Flüsse, Seen u. s. w. enthält etwa 0,027 Volumprocente Gas, nämlich ein Gemenge der atmosphärischen Gase, mit denen es in Berührung steht. Daher kommen die Bläschen, die sich schon in gelinde erwärmtem „abgestandenem" Wasser zeigen und bei stärkerer Erhitzung unter summendem Geräusch entweichen, daher auch das Schäumen des vom Druck befreiten Leitungswassers.

Viel erheblicheren Gehalt an Gasen weisen manche Quellwasser, Säuerlinge u. a. m. auf. Die gegohrenen Getränke enthalten die durch die Gährung gebildete Kohlensäure absorbirt, wie dies besonders beim Schaumwein ersichtlich ist.

Auch das Bodenwasser enthält stets gelöste Kohlensäure, was für die Ernährung der Pflanzen wichtig ist. In gewöhnlichem Flusswasser sind etwa 0,06—0,11 pCt. Kohlensäure, so dass es Kalk aufgelöst zu halten vermag („Härte" des Wassers). Brunnenwasser wurde von H. Rose durch seinen Gehalt an doppeltkohlensaurem Kalk alkalisch reagirend gefunden.

10000 ccm Wasser enthalten

	bei 0°	bei 15°
N	159,2	115,7
O	85,4	62,0
CO_2 . . .	7,4	4,2
	252,0	181,8

Das Verhältniss des Sauerstoffs zum Stickstoff bleibt nach Bunsen's Versuchen bei wechselnder Temperatur fast ungeändert.

Der Procentgehalt betrug bei

1° C.	13° C.
34,73 O	34,91 O
65,27 N	65,09 N

Da Sauerstoffgas minder elastisch ist als Stickstoff, tritt es in verhältnissmässig grösserer Menge ins Wasser ein, sodass von dem gesammten Gasgehalt des Wassers etwa ein Drittel Sauerstoff ist. Das Wasser hat also einen relativ grösseren Sauerstoffgehalt als die Luft, nämlich:

Verhältniss der Gase

	im Wasser	in der Luft
N . . .	65,1	79,04
O . . .	34,9	20,96
	100,0	100,00

Nach dem Volum enthält dagegen das Wasser 25- bis 33 mal weniger Sauerstoff als die Luft, nämlich statt 21 Volumprocent für die Luft, im Wasser

bei 0°	0,854	Volumprocent	Sauerstoff
„ 15°	0,634	„	„

Da die im Wasser lebenden Thiere nicht, wie man früher annahm, das Wasser selbst zu zersetzen vermögen, um dessen Sauerstoff an sich zu ziehen und den Wasserstoff in die Schwimmblase abzuscheiden, so sind sie auf die im Wasser absorbirte Luft angewiesen. In abgekochtem luftfreiem Wasser sterben daher Fische schon in einigen Stunden, nur der Schlammpeitzger (Cobitis fossilis) erhält sich dank der ihm eigenthümlichen Darmathmung am Leben, wenn er nicht durch besondere Vorkehrungen gehindert wird, an die Oberfläche zu kommen.

Im gewöhnlichen Wasser aber befinden sich die kiemenathmenden Thiere gleichsam in einer Atmosphäre

mit einem Gehalt von etwas weniger als 1 pCt. Sauerstoff, den ihre Kiemen, durch einen ähnlichen complicirten Absorptionsvorgang, wie er bei der Lungenathmung statthat, ins Blut aufnehmen.

Bei den Larven einiger Wasserinsecten, der Libelluliden, und bei fast allen Neuropterenlarven ist Tracheenathmung im Wasser dadurch ermöglicht, dass statt der Stigmen kiemenartige äussere Anhänge vorhanden sind, sogenannte Tracheenkiemen, deren lufterfüllte Höhlung mit dem Tracheensystem communicirt. Die grosse Fläche, die diese Tracheenkiemen dem Wasser darbieten, ermöglichen ausreichenden Gaswechsel zwischen dem im Wasser absorbirten sauerstoffreicheren und dem in den Tracheen enthaltenen, durch die Oxydationsvorgänge des Körpers an Sauerstoff verarmten Gasgemenge.

Vergleichbar mit dem Wasser eines Flusses, das mit der Atmosphäre in Berührung tritt und deren Gase absorbirt, ist der Blutstrom im Thierkörper, der bei seiner Berührung mit der Lungenluft Sauerstoff, Kohlensäure und Stickstoff in sehr beträchtlicher Menge aufnimmt.

Für die Absorption des Stickstoffs ist dieser Vergleich vollkommen zutreffend. Er ist im Blute wie im Flusswasser einfach absorbirt enthalten und entweicht proportional der Verminderung des Druckes. Anders verhält es sich mit Sauerstoff und Kohlensäure. Fände hier Absorption proportional dem Drucke statt, so könnten nur viel kleinere Mengen im Blute enthalten sein, und der Athmungsprocess in viel höherem Grade von Veränderungen des Luftdrucks abhängig sein, als thatsächlich der Fall ist. Ein Condor, wenn er, nach Humboldt's Schilderung, vom Gipfel des Chimborazo gesehen als ein blosser

---

Tracheenkiemen: Vgl. Anm. u. Zusätze 48.

Berührung mit der Lungenluft: Allerdings ist das Blut nicht in unmittelbarer Berührung mit der Luft, aber bei der überaus grossen Dünne der trennenden Schicht ist die dadurch bedingte Aenderung des Vorganges als sehr gering anzuschlagen.

Punkt am Himmelsgewölbe erscheint, würde durch die Druckverminderung fast allen Sauerstoff aus dem Blute verlieren und sterben müssen. Aber Sauerstoff und Kohlensäure werden im Blute auf eine viel verwickeltere Weise gebunden, deren Feststellung der speciellen Physiologie der Athmung angehört. Es genüge hier, zu sagen, dass die Kohlensäure zum Theil physikalisch absorbirt und zum Theil chemisch gebunden ist. Der Sauerstoff entweicht erst bei so starker Verminderung des Druckes, dass es den Anschein hat, er sei in der Art gebunden wie das zweite Molekül Kohlensäure im Natriumbicarbonat. Die Kohlensäure ist nachweislich grösstentheils im Blutplasma, der Sauerstoff in den rothen Körperchen enthalten.

Auch Lymphe, Harn und andere Flüssigkeiten des Thierkörpers enthalten Gase auf die eine und andere Art absorbirt. Jedes lebende Gewebe vermag durch Absorption von Sauerstoff aus der Luft einen Stoffwechsel zu unterhalten, wie dies Humboldt und G. v. Liebig für ausgeschnittene blutleere Froschmuskeln bewiesen haben.

Auf diese Weise geht auch die Heilung des als „Pneumothorax" bezeichneten pathologischen Zustandes vor sich. Wird die Brusthöhle durch eine penetrirende Wunde oder den Durchbruch einer Rippenfelleiterung eröffnet, so collabirt die Lunge, und in den entstehenden Hohlraum tritt zunächst atmosphärische Luft. Wird nun die äussere Wunde verschlossen, so findet zwischen der eingeschlossenen Luftmenge und den Körperflüssigkeiten, Blut und Lymphe, ein Gasaustausch statt, sodass man schliesslich nur Stickstoff, Kohlensäure (6 pCt.) und Spuren von Sauerstoff vorfindet. Indem nun gleichzeitig ein Exsudat auftritt, dessen Druck die Absorption der Gase be-

---

A. v. Humboldt: Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser. Berlin 1797. II. S. 282, 283.

G. v. Liebig: Müller's Archiv. 1850. S. 393.

Pneumothorax: Vgl. M. Traube, Gesammelte Beiträge zur Pathologie und Physiologie. II. S. 901.

fördert, verschwinden diese allmählich ganz, und in dem Maasse, in dem die Exsudatflüssigkeit resorbirt wird, legen sich Lungen- und Rippenpleura wieder aneinander, sodass die Lunge wieder ausgedehnt wird. Damit ist der ursprüngliche Zustand vollkommen wieder hergestellt.

Vom Verdunsten der Flüssigkeiten.

Bis hierher wurde ganz abstrahirt von der Fähigkeit der meisten Flüssigkeiten selbst gasförmig zu werden.

So wie sich Gase in tropfbaren Flüssigkeiten verbreiten, so verbreiten sich auch tropfbare Flüssigkeiten in den Gasen, indem sie Luftgestalt annehmen oder zu Dämpfen werden. Die Gesetze der Dampfentwicklung oder Verdunstung kommen sehr nahe überein mit den Gesetzen, die für die Entwicklung absorbirter Gase aus der absorbirenden Flüssigkeit gelten. Die Menge des in der Zeiteinheit gebildeten Dampfes, also die Intensität der Verdunstung, ist abhängig

1. von der substantiellen Natur der Flüssigkeit,
2. von der Temperatur.

In begrenztem Raume kann aber die Verdampfung nur bis zu einem bestimmten Maasse fortschreiten. Die Dämpfe haben dann für dies Volum und diese Temperatur das Maximum ihrer Dichte erreicht, jede weitere Verdichtung, sei es durch Verminderung des Volums oder durch Zusatz neuer Dämpfe oder durch Herabsetzung der Temperatur, führt zur Condensation, zum Niederschlag der Dämpfe in flüssiger Form.

Dies Maximum ist unabhängig von der Gegenwart anderer Gase, das heisst ein schon mit Gas gefüllter Raum ist, was die Menge der sich darin bildenden Dämpfe betrifft, dem luftleeren Raume gleich zu achten, was Ver-

suche in der TORRICELLI'schen Lehre bestätigen. Durch die Anwesenheit eines Gases wird die Dampfbildung also nur verlangsamt, aber nicht beeinträchtigt. Daher tritt überall, wo Luft mit Wasser in Berührung steht, Wasserdampf in die Luft ein, und zwar geht die Dampfbildung so lange fort, bis für die herrschende Temperatur das Maximum der Dichte erreicht ist. Diesen Zustand nennt man den der Sättigung, und bezeichnet das Maass der Wassermenge, die alsdann in der Volumeinheit Luft enthalten ist, als den Sättigungspunkt oder Thaupunkt.

Tabelle der Thaupunkte.

T. in ⁰ C.	g H_2O in 1 cbm Luft
37	42,2
30	29,4
25	22,5
20	17.1
15	13,0
10	9,7
5	7,3
0	5,4
— 10	2,9
— 20	1,5

Die Lehre von der Luftfeuchtigkeit, die Hygrometrie, ist ein Capitel der Meteorologie, das dem praktischen Arzte nicht fremd sein darf, weil die Luftfeuchtigkeit auf die Function der Athmungsorgane und der Haut grossen Einfluss hat.

Die Luft, die bei der Athmung in die Lungen aufgenommen wird, nimmt nämlich sehr schnell die Temperatur des Körpers an, und da sie mit der sehr grossen feuchten Oberfläche, die durch die unzähligen Lungenbläschen dargestellt wird, in Berührung steht, wird sie für die Temperatur des Körpers, also 37⁰, mit Wasserdampf gesättigt. Ein Blick auf die Tabelle lässt er-

kennen, wie sehr die Wasserabgabe der Lungen von dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft beeinflusst werden muss. Die Luft enthält gewöhnlich etwa $^1/_2$ Volumprocent Wasserdampf; Luft, die nur $^1/_5$ bis $^1/_3$ des zur Sättigung nöthigen Wassers enthält, gilt schon für sehr trocken.

Zur Bestimmung der Luftfeuchtigkeit sind eine Reihe von Apparaten angegeben worden. De Saussure führte das nach ihm benannte Haarhygrometer ein, das auf der Eigenschaft des Haares beruht, durch Aufnahme von Feuchtigkeit länger zu werden. Ein möglichst langes und feines, entfettetes Haar ist an einem Ende fest eingespannt, am andern Ende um eine Rolle geschlungen und durch ein kleines Gewicht gespannt. Mit der Rolle ist ein langer leichter Zeiger verbunden, der auf einer Skala die leiseste Drehung der Rolle anzeigt. Je nach der Feuchtigkeit der umgebenden Luft verlängert oder verkürzt sich das Haar, sodass die Rolle sich dreht und der Zeiger sich bewegt. Der Apparat muss empirisch geaicht werden und gestattet dann hinlänglich genaue und sichere Ablesung.

Durch Bestimmung des Thaupunktes zeigt das Daniell'sche Hygrometer den Wassergehalt der Luft an. Es besteht aus einer luftleeren gebogenen Glasröhre, die an beiden Enden kugelförmige Erweiterungen hat, von denen eine von aussen vergoldet ist und im Innern etwas Aether und einen Thermometer enthält, die andere mit einem Stück Leinwand umwickelt ist. Wenn man die Leinwand mit Aether benetzt, sodass sie durch die lebhafte Verdunstung abgekühlt wird, so condensiren sich hier die Aetherdämpfe, die die Röhre erfüllen. Infolge der verminderten Dampfspannung beginnt alsbald der Aether im Innern der ersten Kugel stärker zu verdunsten und sich dadurch ebenfalls abzukühlen, wobei man seine Temperatur an dem Thermometer ablesen kann. Sobald nun der-

---

Feuchtigkeitsgehalt der Luft: Vgl. Anm. u. Zusätze 49.

jenige Kältegrad erreicht ist, für den die äussere Luft mit Wasserdampf gesättigt ist, beginnt sich das Wasser auf der Aussenfläche der Kugel niederzuschlagen. Auf der vergoldeten Fläche ist schon der leiseste Hauch von Wasserbläschen zu erkennen, man kann also die Sättigungstemperatur der Luft genau ablesen, und aus der Tabelle der Thaupunkte die absolute Luftfeuchtigkeit ersehen.

Das Psychrometer von August besteht aus zwei gleichen Thermometern, von denen das eine die herrschende Lufttemperatur, das andere, das mit einer befeuchteten Umhüllung versehen ist, eine je nach der Intensität der Verdunstung niedrigere Temperatur zeigt. Der Unterschied der beiden Ablesungen ist ein Maass für die Stärke der Verdunstung, die wiederum von der Menge des in der Luft enthaltenen Wasserdampfs abhängt.

Die Windrichtung beeinflusst sehr wesentlich den Feuchtigkeitsgehalt der Luft. Bekanntlich bringt in der Regel der Westwind im Sommer kühle und feuchte, im Winter warme und feuchte Luft, der Ostwind im Sommer warme und trockene, im Winter kalte und trockene Luft. Dies ist einfach daraus zu erklären, dass der Westwind die Luft vom atlantischen Ocean herführt, wo sie die gleichmässige oceanische Temperatur und einen hohen Feuchtigkeitsgehalt angenommen hat, während vom Osten die trockene Luft der grossen östlichen Ländermassen kommt. Für den Arzt ist es gewiss nicht gleichgültig, ob er vorauswissen kann, was für Winde in den nächsten Tagen wehen werden, ob also rauhe trockene, oder milde feuchte Luft zu erwarten ist. Die Windrichtung lässt sich nun ziemlich sicher im voraus bestimmen nach dem Drehungsgesetz von Dove, das besagt: Auf der nördlichen Hemisphäre dreht sich der Wind stets im Sinne der Drehung von Nord über Ost nach Süd, von Süd über West nach Nord, also auf dem Compass im Sinne des Uhrzeigers, umgekehrt auf der südlichen Hemisphäre.

Obgleich dies Gesetz, das sich auf die Beziehungen der Luftströmungen zur Rotation der Erde stützt, in neuerer Zeit angefochten wird und durch complicirtere Anschauungen ersetzt worden ist, wird es durch die Erfahrung, wenigstens für die hiesigen Verhältnisse, so gut bestätigt, dass es als praktische Regel seinen Werth behält.

Von der Diffusion der Gase durch feuchte Membranen (Hydroaërodiffusion).

An die Lehre von der Absorption schliesst sich die von der Diffusion der Gase durch feuchte Membranen (Hydroaërodiffusion). Wenn zwei absorbirbare Gase durch eine feuchte Membran, zum Beispiel eine Seifen- oder Eiweissblase, oder eine thierische mit Flüssigkeit getränkte Haut getrennt sind, diffundiren sie gegeneinander.

Wird ein Gefäss, über dessen Mündung eine Blase von Hühnereiweiss steht, in ein Gefäss mit Kohlensäure gestellt, so wölbt sich die Eiweissblase kugelig vor, weil die Kohlensäure rascher eindringt, als die Luft austreten kann.

Wird ein Stück feuchten Darmes an einem Ende zugeschnürt, am anderen mit einem Manometer verbunden und in eine Kohlensäureatmosphäre gebracht, so steigt der Druck darin.

Bei der Hydroaërodiffusion tritt also Kohlensäure mit grösserer Leichtigkeit durch die Membran hindurch als Luft oder auch als Wasserstoffgas. Diese beiden Gase

---

Complicirtere Anschauungen: Vgl. Anm. u. Zusätze 50.

Wölbt sich die Eiweissblase: Vgl. Anm. u. Zusätze 51.

Stück feuchten Darmes: Dieser Versuch wird von Joh. Müller, Handb. d. Physiol., 1844, I, S. 196, auf Faust, Froriep's Notizen, Bd. 29, 1831, N. 646, S. 118, zurückgeführt.

verhalten sich also hier umgekehrt wie nach GRAHAM'S Gesetz bei der Aërodiffusion durch trockene Scheidewände.

Der Vorgang ist eben dem Wesen nach ein ganz anderer, und folgendermaassen zu denken: Die Flüssigkeitsschicht enthält zunächst noch keine Kohlensäure, sie absorbirt diese von der einen, Wasserstoff von der anderen Seite. Da nun jedes Gas für das andere ein Vacuum darstellt, so wird auf der Seite, wo sich Kohlensäure befindet, der absorbirte Wasserstoff abgegeben, auf der Seite, wo nur Wasserstoff war, Kohlensäure abgegeben. Was die Flüssigkeit an Gasen auf diese Weise einbüsst, wird durch den ersten Vorgang der Absorption dauernd wieder ersetzt. So wandert also die Kohlensäure mit einer Geschwindigkeit, die offenbar direct proportional dem Absorptionscoëfficienten sein wird, von einer Seite der Membran zur andern. Dasselbe gilt für den Wasserstoff. Wegen ihres grösseren Absorptionscoëfficienten wird nun eine grössere Menge Kohlensäure in der Zeiteinheit durch die Membran hindurchgehen: wenn also beim Versuch aussen Kohlensäure steht, wird die Membran nach aussen gewölbt.

Eine besonders elegante Form gab dem obenerwähnten Versuche MARIANINI, indem er Seifenblasen in Gefässen mit Kohlensäure schwimmen liess. In dem Maasse als die Kohlensäure durch die Seifenmembran diffundirte, wurden die Blasen grösser und zugleich specifisch schwerer, sodass sie tiefer in die Kohlensäure versanken, immer schneller an Umfang zunahmen und schliesslich platzten.

Die Beobachtungen über das Hindurchdringen von Gasen durch verschiedene Stoffe, wie Kautschuk u. a., die oben bei der trockenen Aërodiffusion erwähnt wurden, gehören vielleicht zum Theil hierher. Wenigstens spricht dafür die Beobachtung GRAHAM'S, dass, wenn Luft durch ein mit Kautschuk überzogenes Seidengewebe hindurch-

---

Marianini: Vgl. Anm. u. Zusätze 52.

gepresst wird, vornehmlich der Sauerstoff durchtritt, sodass in dem hindurchgetretenen Gasgemische ein glimmender Spahn sich entzündet.

Von den Lösungen.

Nachdem im Vorhergehenden das Verhalten von Gasen und Dämpfen untereinander und gegenüber Flüssigkeiten besprochen worden ist, kommt nunmehr die Hydrodiffusion an die Reihe, bei der es sich nur noch um tropfbare Flüssigkeiten handelt. Diese können entweder chemische Individuen sein, wie zum Beispiel Wasser und Alkohol, oder Flüssigkeiten, die Substanzen gelöst oder Gase absorbirt, oder feste Körper sonst fein in sich vertheilt enthalten. Die Vertheilung der festen Körper in der Flüssigkeit kann nun, ebenso wie die Absorption von Gasen, als ein Diffusionsprocess aufgefasst werden, daher wir uns zuerst mit den Lösungen zu beschäftigen haben werden.

Echte Lösungen oder Lösungen krystalloïder Körper.

Eine grosse Anzahl von festen Körpern, welche krystallisiren, löst sich in Wasser und anderen Flüssigkeiten auf, sodass eine vollkommene Flüssigkeit von veränderten Eigenschaften entsteht. Die Lösung eines Körpers in einer Flüssigkeit kann in allen möglichen Mengenverhältnissen stattfinden bis zu einem von der Temperatur abhängigen Maximum, bei dem die Lösung für die Temperatur „gesättigt“ heisst.

Also bestehen für die Lösung so wenig wie für die Absorption bestimmte Proportionen: dies zeigt, dass es sich nicht um einen chemischen Vorgang handelt.

Das Sättigungsmaximum ist ausserordentlich verschie-

den, je nach der substantiellen Natur des Lösungsmittels und der gelösten Substanz, wie zum Beispiel bei Calciumchlorid und Gyps, Harnstoff und Harnsäure.

Dabei sind aber gewisse chemische Beziehungen zu erkennen: Die Salze gewisser Säuren und gewisser Basen sind durchweg löslich, wie alle salpetersauren, chlorsauren und essigsauren Salze und fast alle Alkalisalze.

Die Abhängigkeit der Löslichkeit von der Temperatur ist ebenfalls sehr verschieden. So ist zum Beispiel Kochsalz in seiner Löslichkeit fast unabhängig von der Temperatur, denn es lösen sich bei

0° 26 pCt. Kochsalz
100° 28 „ „

Im Allgemeinen nimmt die Lösungsfähigkeit, umgekehrt wie die Absorptionsfähigkeit, mit der Temperatur zu, mitunter aber wird ein Maximum erreicht, jenseits dessen die Löslichkeit wieder abnimmt. Ein solches Maximum der Löslichkeit hat das Natriumsulfat (Na_2SO_4 + $10\,H_2O$) bei 32,4°. Bei stärkerem Erhitzen einer bei 32,4° gesättigten Lösung scheiden sich daher Krystalle aus, die aber weniger Wasser enthalten, als die beim Erkalten abgeschiedenen Krystalle. Für manche Stoffe bedarf es nur einer geringen Modification des Lösungsmittels, um die Löslichkeit wesentlich zu ändern. Kochsalz ist in salpeterhaltigem Wasser leichter löslich als in reinem. Enthält Wasser nur ein wenig freie Kohlensäure, so vermag es Kalk zu lösen. Hierauf beruht die Bildung des Kesselsteins und der Tropfsteine: Der im kohlensäurehaltigen Wasser gelöste Kalk schlägt sich bei der Verflüchtigung nieder. Indem sich dieser Vorgang bei den einzelnen Tropfen des von oben her in Erdspalten und Höhlen einsickernden Wassers Jahrhunderte lang wiederholt, wächst der Niederschlag allmählich zu gewaltigen, kegelförmig

---

Chemische Beziehungen: Vgl. P. Kremers, Pogg. Ann., 92, 1854, S. 497, Versuch die relative Löslichkeit der Salze aus ihrer Constitution abzuleiten.

von der Höhlendecke herabhängenden „Stalaktiten“ an. Das abtropfende Wasser, das ebenfalls Kalk gelöst enthält, verdunstet am Boden der Höhle, wo sich infolgedessen ein kegelförmig aufragendes Tropfsteingebilde, der „Stalagmit“ aufbaut. Schliesslich wachsen beide zu einer Tropfsteinsäule zusammen.

Eigenschaften der Lösungen.

Die Lösungen pflegen in gewissen Beziehungen die Eigenschaften der gelösten Körper zu bewahren, wie zum Beispiel Geschmack und Farbe.

Eigenthümlich verhält sich das specifische Gewicht der Lösungen: Ihre Dichte lässt sich nicht vorher bestimmen. Meist findet eine Contraction statt, dann ist also die Dichte in Wirklichkeit grösser als sie nach der Berechnung sein würde.

Eine ganz constante Erscheinung ist die Erhöhung des Siedepunktes durch Auflösung eines beliebigen Stoffes in einer Flüssigkeit. Für gesättigte Kochsalzlösung ist zum Beispiel der Siedepunkt 109°, für gesättigte Lösung von essigsaurem Natron sogar 132°.

Mit der Erhöhung des Siedepunkts ist verknüpft die Abnahme der Flüchtigkeit. Einzelne Lösungen ziehen sogar Wasser an, wie selbst stark verdünnte Schwefelsäure. Umgekehrt zeigen alle Lösungen Erniedrigung des Gefrierpunktes, sodass man sagen kann, dass eine Lösung nach beiden Extremen länger den tropfbar flüssigen Charakter behält als das reine Lösungsmittel. Aus diesem Grunde ertragen organische Gewebe ohne Schaden viel tiefere Temperatur als Null: Muskeln —5 bis —6°, Dipteren-Eier — 16°. Junge Blätter und Knospen, die viel Asche geben, also sehr salzreich sind, ertragen mehr Kälte als die ausgewachsenen Blätter.

Beim Gefrieren der Lösungen trennt sich das Wasser von der gelösten Substanz, und diese wird ausgeschieden. Fremde Beimengungen bleiben bei diesem Vorgange in

der Lösung (Mutterlauge) zurück, und die entstehenden Krystalle sind rein. Hierauf beruht das Umkrystallisiren als Reinigungsverfahren in der chemischen Technik. Geschmolzenes Polareis liefert aus demselben Grunde süsses Wasser, wie COOK auf seiner Weltumsegelung am Südpol entdeckte. Arktische Seefahrer sind also um Trinkwasser nicht verlegen, so lange sie Brennmaterial haben. Beim Gefrieren von Wein wird das Wasser in Gestalt von reinen Eiskrystallen ausgeschieden, und die zurückbleibende stärkere Lösung ist es, die man als „Gletscherwein" bezeichnet. Dieser Vorgang der Ausscheidung gelöster Substanzen beim Gefrieren der Lösung spielt nach HOPPE-SEYLER eine Rolle bei der Aufhellung des Blutes durch wiederholtes Frieren und Aufthauen.

Die Lichtbrechung und das Dispersionsvermögen ist bei den Lösungen vermehrt.

Die mittlere Ausdehnung durch die Wärme ist vermehrt, die Wärmecapacität dagegen vermindert. Während beim Auskrystallisiren Wärme frei wird, wird beim Auflösen fester Körper Wärme gebunden, und diese Wirkung überwiegt das Freiwerden von Wärme infolge der Contraction und der verminderten Capacität. Auf der Bindung der Wärme beim Auflösen der Krystalle beruht die Anwendung der Kältemischungen. Als solche wird praktisch meist eine Mischung von Kochsalz mit Schnee zu ungefähr gleichen Theilen verwendet, die Kältegrade bis zu —21° erzeugt. Eine besonders intensiv wirkende Mischung ist die von Rhodankalium mit Wasser. Wie RÜDORFF gezeigt hat, kann die Abkühlung niemals weiter gehen, als höchstens bis zum Gefrierpunkte der entstehenden Lösung, da von diesem Punkte an Krystallisation beginnen, und also Wärme frei werden würde.

Die Lösungen zeigen verminderte Steighöhe in Ca-

Rüdorff: Ueber Kältemischungen. Pogg. Ann. 122. 1864. S. 337. POUILLET-MÜLLER, Lehrbuch der Physik. 9. Aufl. 1898. II. 2. Abth. S. 461.

pillarröhren, was auf erhöhte Cohäsion oder verminderte Adhäsion hinweist. DUTROCHET wies dies für Kochsalz und Glaubersalz in Lösung nach, GRAHAM für Lösungen von Kalium- und Natriumcarbonat.

In den Lösungen der Salze ist ferner die Leitungsfähigkeit für Elektricität erhöht, weil sich die Salze als Elektrolyte bei der Leitung betheiligen. Daher gilt von der Leitungsfähigkeit für Wärme nicht dasselbe, obschon diese sonst als der elektrischen Leitfähigkeit proportional angesehen werden kann.

Die Lösungen von Eisensalzen sind magnetisch, während die Lösungen anderer Salze diamagnetisch sind. Die Lösungen mancher Stoffe sind optisch wirksam, indem sie die Polarisationsebene des Lichts nach rechts oder links drehen. Man bezeichnet als specifisches Drehungsvermögen einer Lösung die Grösse $x = \frac{\alpha}{e\delta}$, wo δ die Dichte der Lösung, e die Dicke der Schicht, α den Winkel bedeutet, um den die Polarisationsebene gedreht wird.

Die magnetische Circumpolarisation der Lösungen in einem magnetischen Felde kann positiv oder negativ sein.

Endlich ist die Eigenschaft zu beschreiben, welche uns hier am meisten interessirt.

Noch BEUDANT und BISCHOFF glaubten, dass in den verschiedenen Schichten einer Lösung verschiedenes specifisches Gewicht herrsche, und dass dadurch eine Lösung zum Auskrystallisiren am Boden des Gefässes gebracht werden könne, etwa wie aus dem Chaos der Mythologie, oder aus einem Gemenge von Quecksilber, Wasser und Oel sich schliesslich eine geordnete Uebereinanderschichtung herstellt.

GAY LUSSAC zeigte dagegen, dass in allen Theilen gleicher Procentgehalt herrsche.

Dutrochet: Pogg. Ann. 28. 1833. S. 362.
Gleicher Procentgehalt: Vgl. Anm. u. Zusätze 53.

Die Lösung strebt nach Lösungsgleichgewicht. Darauf beruht, wie wir sehen werden, die ganze Hydrodiffusion. Eine Ausnahme bewirken allein die besonderen Anziehungskräfte, die zum Beispiel durch die Oberflächenanziehung fester, mit der Flüssigkeit in Berührung stehender Körper ausgeübt werden.

Durch diese Eigenschaften ist das Verhalten der Lösungen krystalloider Körper gekennzeichnet, nur ist hinzuzufügen, dass chemische Reactionen in den Lösungen bekanntlich kräftig und schnell vor sich gehen, und dass diese Lösungen diffusibel sind, wovon später.

Von der Uebersättigung.

Eine besondere Art der Lösung ist die der „Uebersättigung". Erkaltet eine Lösung, so krystallisirt gemeiniglich das darin enthaltene Krystalloïd aus, es kann aber auch gelöst bleiben und dann befindet sich die Lösung in einem Zustande labilen Gleichgewichts, in dem sie plötzlich zu einer krystallinischen Masse erstarren kann. Diesen Zustand bezeichnet man als den der übersättigten Lösung. Die plötzliche Krystallisation kann herbeigeführt werden durch Erschütterung und durch Spitzenwirkung, vornehmlich aber durch Berührung der Flüssigkeit mit einem Krystalle der in der übersättigten Lösung enthaltenen Substanz. Am besten lassen sich diese Erscheinungen an Lösungen von krystallwasserhaltigen Salzen beobachten. So zum Beispiel kommt die Lösung von Glaubersalz, $Na_2SO_4 + 10\ H_2O$, die bei gegen 33° gesättigt ist, beim Abkühlen leicht in den Zustand der Uebersättigung, wenn sich auch Krystalle von geringerem Wassergehalt ausscheiden. Noch besser geht der Versuch mit dem in der Photographie so wichtigen unterschweflig-

Lösungsgleichgewicht: Vgl. Anm. u. Zusätze 54.

Plötzliche Krystallisation: „LOEWEL's Versuch." Vgl. hierüber wie über die nachstehenden Einzelheiten Fortschritte der Physik, 12, 1856, S. 182, wo LOEWEL's zahlreiche Arbeiten angeführt sind.

Photographie: Siehe Anm. u. Zusätze 55.

sauren Natron, $Na_2SO_3 + 5 H_2O$. Dies schmilzt beim Erwärmen in seinem Krystallwasser, bleibt beim Abkühlen flüssig und verwandelt sich beim Berühren mit einem Krystall in eine trockene krystallinische Masse.

Ein in der übersättigten Lösung miterkalteter Glasstab ist „adynamisch", d. h. beim Eintauchen tritt die Krystallbildung nicht ein. Ein staubiger Glasstab ist wirksam, ein erhitzter, durch die Flamme gezogener, nicht, weil der Staub verbrannt ist. Abwischen genügt nicht, und ein solcher Stab bleibt wirksam, aber nicht etwa, weil er nach Heintz beim Reiben negativ elektrisch geworden ist. Mit Wasserdampf gesättigte oder getrocknete oder durch Baumwolle geführte Luft ist auch adynamisch. Alles dies weist darauf hin, dass die Wirkung von minimalen Krystallen der betreffenden Substanz herrührt, die den wirksamen Körpern anhaften. In vielen Fällen genügt aber Erschütterung oder Bewegung von in der Lösung befindlichen Glasstückchen, sodass man auch hier eine „Spitzenwirkung" (ähnlich der bei der Absorption erwähnten) annimmt.

Auch beim Abdampfen und beim ruhigen Verdunsten einer Lösung tritt Uebersättigung ein, um so vollkommener, je langsamer und ruhiger das Wasser sich verflüchtigt.

Eine übersättigte Lösung ist zu vergleichen mit unter den Nullpunkt erkältetem („unterkühltem") Wasser, oder einer anderen geschmolzenen Substanz, die ohne zu erstarren, unter ihren Schmelzpunkt abgekühlt worden ist, sich also im Zustande der „Ueberschmelzung" (besser „Unterkühlung") befindet. Zwischen den Erscheinungen, die in beiden Fällen eintreten, besteht vollkommene Analogie. Daher konnte Arago die Entstehung von Grundeis auf Spitzenwirkung in unterkühltem Wasser zurückführen.

Spitzenwirkung: Vgl. auch S. 54.
Ueberschmelzung: Siehe Anm. u. Zusätze 56.

Die Blutgerinnung, bei der Unebenheiten der benetzten Oberfläche eine unverkennbare Rolle spielen, glaubte man einstmals ebenfalls durch den Vergleich mit einer übersättigten Lösung erklären zu können.

Ausser der echten Lösung kommen nun noch verschiedene andere Arten der Vertheilung fester Körper in tropfbaren Flüssigkeiten vor.

Hier ist anzuführen, dass zwar zwischen dem gasförmigen und tropfbar flüssigen Zustande keine Uebergangsformen vorkommen, wohl aber zwischen flüssigem und festem Zustande. Es ist nämlich zu unterscheiden zwischen vollkommener Flüssigkeit, syrupöser Consistenz, salben- und breiartigen, festweichen und teigigen Zuständen, die man als „gemischte Aggregatzustände“ zusammenfassen kann.

In dieser Beziehung besteht zwischen der organischen und unorganischen Natur ein auffallender Unterschied. Die gemischten Aggregatzustände sind in der unorganischen Natur viel weniger häufig als in der organischen. Biegsamkeit ohne Elasticität kommt in der unorganischen Welt nur bei dem Gelenkquarz, dem Itakolumit vor, in dem auch Diamanten vorkommen, so genannt von dem Berge Itakolumi, bei Villarica, Minas Geraes in Brasilien. Gallertige, syrupöse, fadenziehende Stoffe sind in der unorganischen Natur äusserst selten. Kieselsäure, essigsaure Beryllerde, essigsaures Titanoxyd sind gallertig. Pyrophosphorsäure syrupös. Zinkchlorid, Kalilauge und einige andere Flüssigkeiten im concentrirten Zustande dickflüssig, ohne zähflüssig zu sein. Feurig zähflüssig ist Glas. Schwefel ist bei 115° flüssig, bei weiterer Erhitzung von 160° an dickflüssig, sodass er bei 230° nicht mehr giessbar ist. Weiter erhitzt, wird er wieder flüssiger und siedet endlich bei 448°. In dem zähen Zustande, den er bei 200° hat, in Wasser gegossen, bleibt er zäh (amorpher Schwefel), und verwandelt sich erst in mehreren Tagen wieder in gewöhnlichen gelben Schwefel.

Ganz im Gegensatze hierzu sind die gemischten Aggregatzustände ungemein häufig in der organischen Natur. Die Lösungen der festweichen organischen Stoffe unterscheiden sich in verschiedener Beziehung von den Lösungen der festen anorganischen Stoffe, wie zum Beispiel der Salze. Thomas Graham führte daher für die beiden Gruppen von Stoffen die Bezeichnung „Krystalloïde" und „Colloïde" (von Colla, der Leim) ein. Brücke hatte zwischen echten Lösungen (der Krystalloïde) und den unechten (der Colloïde) unterschieden: Während die echten Lösungen stets vollständig flüssig sind, sind als unechte solche Lösungen zu betrachten, die durch den aufgelösten Körper einen auffallenden Grad von Zähigkeit angenommen haben. Solche Lösungen sind: Aus der unorganischen Natur, wie schon erwähnt, Kieselsäure, mit Salzsäure aus Natriumsilicat gefällt, Thonerdehydrat, eine Anzahl lösliche Metalloxydhydrate. Aus der organischen Natur: Stärke, Gummi, Dextrin, Caramel, Gerbstoff, Eiweiss, Leim, Schleim, Gelose (Pflanzenleim aus Japan: Agar-Agar, Gelidium corneum).

Den unechten Lösungen dieser organischen Körper ist besonders das Phänomen des Fadenziehens eigenthümlich: Leim, Eiweiss, Seife gehören hierher. Wie schon der Name besagt, ist ihr Typus der Leim, die thierische Gallerte. Vermöge dieser Eigenschaft sind die colloïdalen Lösungen im Gegensatz zu denen der krystalloïden nicht dialysirbar, das heisst sie diffundiren nicht durch poröse Scheidewände, wovon weiter unten ausführlicher die Rede sein wird.

Im Gegensatz zu den Krystalloïden krystallisiren die gelösten Substanzen aus den unechten Lösungen nicht aus, sondern trocknen ein zu glasigen Massen mit muscheligem Bruch. Sie wirken nur schwach auf die Flüchtigkeit des Lösungsmittels: Gummi mimosae ändert den Siedepunkt

---

Unechte Lösungen: Brücke. Pogg. Ann. 58. 1843.

des Wassers nicht. Sie haben wenig oder gar keinen Geschmack. Endlich das Haupt-Kennzeichen: Die unechten Lösungen sind bei hinreichender Concentration stets fadenziehend. Trotz der vermehrten Viscosität stehen sie aber im Capillarrohr nicht höher als Wasser.

Praktische Wichtigkeit hat die letzte Thatsache, insofern der Albumin enthaltende Harn bei Morbus Brightii (und auch diabetischer Harn) wie Seifenwasser Blasen bildet, worauf zuerst TISSOT in seiner Dissertation: Sur l'état granuleux du rein (Paris 1833) aufmerksam machte. RAYER zeigte, dass schon $^1/_{500}$ Serum zu Harn oder Wasser gesetzt (Hühnereiweiss taugt nicht dazu), an diesen Blasen erkannt werden kann.

BRÜCKE erklärte die Eigenschaften der unechten Lösungen durch die Annahme, dass in den unechten Lösungen die Körper nicht wahrhaft verflüssigt sind, sondern dass im Wasser feste Theilchen suspendirt sind, die sich mit einer Wasserhülle umgeben. Eine Seifenblase oder Eiweisshaut wäre also nach dem Schema (Fig. 9) gebaut: Die einzelnen Eiweiss- oder Seifentheilchen, jedes mit seiner Wasserhülle, stellten gleichsam feuchte Adhäsionsplattenpaare vor. Ueber diese Anschauung sagt FRANKENHEIM Folgendes:

„Von zwei ebenen und einander parallelen Platten, zwischen denen eine flüssige Schicht ist, sei die obere befestigt, die untere aber werde durch ein Gewicht herabgezogen, so stellt sich ein gewisses Gleichgewicht her zwischen der Dicke der Wasserschicht oder der Entfernung beider Platten und dem Gewichte. Je grösser das Gewicht, desto grösser wird die Entfernung der Platte und desto concaver der Rand der Flüssigkeit, bis, wenn eine gewisse Dicke überschritten ist, die untere Platte abreisst. Die Wasserschicht hat daher einige Aehnlichkeit

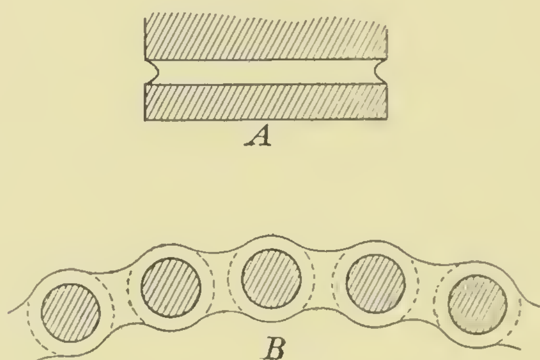
---

Frankenheim: Die Lehre von der Cohäsion. Breslau 1835. S. 103.

mit einem elastischen Körper, dessen Länge von der Belastung abhängig ist. Je kleiner die Platten sind, je grösser also das Volum des gewölbten Theiles gegen die ganze flüssige Schicht, desto bedeutender sind die Veränderungen, welche der Abstand der Platten von einander durch eine Veränderung des Gewichtes erleiden kann.

Die Dicke der Schicht sei ein Millimeter. An die untere Platte komme wieder eine Schicht von gleicher Dicke mit einer dritten Platte; an diese wiederum eine Wasserschicht u. s. f., so kann man diese Abwechselung

Fig. 9.



Theorie der unechten Lösung.
A nasse Adhäsionsplatten, B Theilchen in einer colloïden Membran.

so lange fortsetzen, als die Summe sämmtlicher Platten, die erste ausgenommen, und aller Wasserschichten an Gewicht eine Wassersäule von 15 Millimetern Höhe nicht übertrifft. Sind die Wasserschichten nur 0,1 Millimeter dick, so kann man die Belastung bis auf 150 Millimeter Wasserdruck treiben. Es ist daher möglich eine hohe aus wechselnden Schichten eines Flüssigen und Festen bestehende Säule zu construiren, deren Länge mit der Belastung steigt und fällt, die bei Ueberschreitung einer gewissen Länge zerreisst, durch Verlängerung sich in dem Querschnitte zusammenzieht, sich also fast ganz wie ein fester elastischer Körper verhält. Jedoch findet der Unterschied statt, dass das Volumen bei festen Körpern durch

die Spannung vergrössert wird, bei jener aus Schichten bestehenden Säule aber keine merkliche Veränderung erleidet.“

Von der Emulsion.

Während in dem eben erwähnten Fall die Suspension fester Theilchen hypothetisch angenommen wird, giebt es noch eine dritte Art von Verflüssigung fester Körper in tropfbar flüssigen, wobei solche Suspension zweifellos ist. Diese Verflüssigung besteht in feinster Vertheilung, wie sie auch zwischen zwei nicht mischbaren Flüssigkeiten vorkommt, und wird als „Emulsion“ bezeichnet. An Beispielen für Emulsionen ist in der Natur kein Mangel. Die Milch ist eine Emulsion von Fetttröpfchen, ebenso der Pflanzenmilchsaft, wie der bekannte giftige Saft der Wolfsmilch-Arten. Die Bari-Neger bereiten sich aus diesem Safte ein Pfeilgift, das seiner Wirkung nach dasselbe sein dürfte, mit dem die Pfeile des Herakles vergiftet waren, an denen Philoktet sich verwundete. Bei der Euphorbia palustris haben die im Safte suspendirten Stärketheilchen Stäbchenform. Die Fetttröpfchen der Milch haben 2 bis 3 μ Durchmesser, die kleineren zeigen Molekularbewegung.

Auch des Thons kann hier gedacht werden, der in Gegenden mit fettem Boden nach Regengüssen oft wochenlang im Wasser aufgeschwemmt bleibt, ja eine ständige Beimengung zum Wasser bildet, sodass ein so grosser Strom wie der „gelbe Fluss“ in China davon seinen Namen erhalten hat.

Das Wesen der Emulsion besteht darin, dass die colloide Beschaffenheit der unechten Lösung sich dem Wiederzusammenfliessen der suspendirten Tröpfchen wieder-

---

Gelbe Fluss: Vgl. Anm. u. Zusätze 57.
Wiederzusammenfliessen: Vgl. Anm. u. Zusätze 58.

setzt, da die Kügelchen ihrer geringen Grösse halber einen so grossen Widerstand erfahren, dass sie sich im Vergleich zu den durch Temperaturunterschiede und Verdunstung erzeugten Strömungen unendlich langsam bewegen. Wie Sand, der aus einem Luftballon geworfen wird, wie Windflügel am Regulator eines Triebwerkes bewegen sie sich mit constanter Geschwindigkeit, weil der Widerstand der Beschleunigung das Gleichgewicht hält. So gering die Geschwindigkeit der Bewegung auch ist, führt sie aber doch schliesslich zur Trennung der emulgirten Substanzen. Daher ist auch die Haltbarkeit der Emulsionen begrenzt: Milch lässt Sahne (Rahm, Schmand) emporsteigen, Blut die Körperchen absinken.

Zur Herstellung künstlicher Emulsionen bedient man sich aus diesem Grunde colloidaler Lösungen von Eiweiss, Gummi mimosae, Zucker. Zerriebene Mandeln in Zuckerwasser bilden die sogenannte Mandelmilch. Quecksilber giebt trotz seines hohen specifischen Gewichts eine haltbare Emulsion, wenn es mit steifem Fett zur „grauen Salbe“ verrieben ist.

Das Verhalten der organischen Flüssigkeiten als Emulgentia zum Fette ist besonders untersucht worden. Speichel, Magensaft, Galle, Serum, Cerebrospinalflüssigkeit sollten nach Claude Bernard das Fett bald fallen lassen. Pankreassaft es 18 Tage lang tragen. Allein auch Galle und Olivenöl beharren nach Bidder und Schmidt noch nach mehreren Tagen im Zustand der Emulsion. Die Haltbarkeit der Emulsion wird in vielen Fällen begünstigt durch das Entstehen einer sogenannten „Haptogenmembran“. Mit diesem Namen bezeichnete Ascherson eine Membran, die er an der Berührungsstelle von Eiweisslösung mit Oel entstehen sah. Nun ist Milch eine Emulsion von den Fetten der Butter, Oleïn, Palmitin, Stearin, Butyrin etc., in der colloidalen Lösung des Milchserums (Caseïn) und

---

Ascherson: Vgl. Anm. u. Zusätze 59.

Milchzuckers. Vermöge der eigenthümlichen Reaction, die bei Berührung der eiweissartigen Körper und der Fette stattfindet, werden also die Fettkügelchen umgeben mit einer Schicht flüssigen Eiweisses. Diese Schicht ist schwerer als Wasser und vermindert daher die Steigkraft der Fettkügelchen, begünstigt also das Bestehen des Emulsionszustandes.

In allen diesen Fällen macht sich in den Emulsionen der Unterschied im specifischen Gewicht der beiden Bestandtheile mehr oder minder deutlich bemerkbar. Während sie mit den unechten Lösungen den Umstand gemein haben, dass in beiden feste Körper suspendirt sind, unterscheiden sie sich dadurch, dass in den unechten Lösungen Gleichgewicht herrscht, in den Emulsionen nicht. Und da in den Emulsionen Theilchen von verschiedenem specifischem Gewicht durcheinander gemengt sind, muss es mit dem specifischen Gewicht der Emulsionen eine besondere Bewandtniss haben.

Sie müssen nämlich, mit dem Aräometer und dem Pyknometer untersucht, verschiedenes specifisches Gewicht zeigen, und zwar müssen Fettemulsionen in letzterem leichter erscheinen als an ersterem, da die schwerere Flüssigkeit als zusammenhängende Säule durch die leichteren Fettkügelchen hindurchdrückend aufgefasst werden kann.

Es ist Brücke gelungen solchen Unterschied nachzuweisen mit Hülfe einer Waage und einer Fahrenheit-schen Aräometerspindel, deren Angaben im Mittel aus 10 Beobachtungen an verdünnter Schwefelsäure nur +-0,000018 von einander abwichen.

Eine Emulsion von Mohnöl und arabischem Gummi zeigte die theoretisch geforderte Differenz, indem das Aräometer angab 1,01608, während das Pyknometer gab:

		Differenz
Obere Schicht	1,01252	0,00356
	1,01506	0,00102
	1,01550	0,00058

Ebenso in einem anderen Falle, und auch bei Milch, aber viel weniger ausgesprochen; vielleicht weil es Berliner Milch war. Brücke hatte die Absicht, durch diese Versuche das Verhältniss der Emulsionen zu den unechten Lösungen zu erläutern. Leider zerbrach das Aräometer, und die Untersuchung ist später nicht fortgesetzt worden.

Die Lehre von der Emulsion ist wichtig für die Theorie der Fettverdauung. Resorbirt werden können, wie wir zum Theil noch sehen werden, nur tropfbar flüssige Substanzen. Daher ist die erste Bedingung für die Verdaulichkeit einer Substanz, dass sie löslich ist oder durch die Verdauungssäfte löslich gemacht wird. Mund-, Magen- und Darmverdauung zielen darauf ab, die Nahrungsmittel löslich zu machen.

Nun könnte das Fett im Zustand einer feinen Emulsion durch anatomische (nicht physikalische) Poren der Darmhaut hindurchgetrieben werden. Aber wie sollen die Fette im Darm emulgirt werden? Es reicht nicht aus, dass, wie Claude Bernard und Andere gezeigt haben, Galle und pankreatischer Saft sich zum Emulgiren eignen. Zum Emulgiren gehört stets eine mechanische Kraft, die des Pistills des Apothekers. Nun sind aber die Bewegungen des Darmrohres durchaus nicht von der Art, dass man von ihnen eine so intensive mechanische Leistung erwarten dürfte, wie sie zum Emulgiren nöthig ist. Brücke fand zwar, dass ein Fett, das nicht absolut fettsäurefrei ist, mit einer alkalischen Flüssigkeit geschüttelt, eine haltbare Emulsion bildet, ja dass, unter Bedingungen, die der Verseifung günstig sind, ein einziger Schüttelstoss genüge, um die vorher getrennten Substanzen in eine Emulsion zu verwandeln. Aber auch dieser einzige Schüttelstoss ist eine

---

Milch: Vgl. Brücke, Ueber die Bestimmung des specifischen Gewichts der Milch. Müller's Archiv f. Anatom. u. Physiol. 1847. S. 409.

Fettverdauung: Vgl. Anm. u. Zusätze 60.

Einziger Schüttelstoss: Brücke, Wiener Sitzg.-Ber. 61. 1870. II. Abth. S. 362.

Einwirkung, für die in den Verdauungsvorgängen kein Analogon gefunden werden kann. Auch die von WISTINGHAUSEN angegebene Thatsache, dass Oel in Capillaren, die mit einer Lösung von gallensaurem Natron benetzt sind, fast sechsmal so hoch steigen sollte, als bei Benetzung mit Wasser, förderte das Verständniss dieser Vorgänge nicht wesentlich. Da entdeckte GAD, dass sich flüssige fettsäurehaltige Fette in schwachen Lösungen ($^1/_4$ bis $^1/_2$ Procent) von kohlensauren Alkalien auch ohne alle äussere mechanische Einwirkung von selbst emulgiren. Lässt man einen Tropfen von dem ranzigen Fett auf die alkalische Lösung fallen, so breitet er sich im ersten Augenblick aus, und dann beginnt sogleich die Emulgirung, indem der Tropfen gleichsam Fühler nach allen Seiten streckt, die sich theilen, zerreissen und schliesslich, in unzählige feine Tröpfchen zerstäubt, eine weisse haltbare Emulsion geben. GAD erklärte diesen Vorgang durch Diffusionswirkungen auf folgende Weise: Die am Rande des Tropfens befindliche Fettsäure bildet mit dem kohlensauren Alkali Seife, die in der Lösung nach aussen hin fortdiffundirt. In dem Maasse wie dadurch der Rand des Tropfens neutralisirt wird, diffundirt dann die Fettsäure aus dem Innern nach dem Rande. Durch diese beiden Strömungen wird die ganze Masse des Fettes und der Flüssigkeit in Bewegung gesetzt, sodass eine Vertheilung zu Stande kommt, die dann durch Vergrösserung der Angriffsfläche die Intensität der Diffusionsvorgänge steigert, sodass sich die Emulgirung mit wachsender Geschwindigkeit vollendet.

Dieser Erklärung widersprach G. QUINCKE: die Diffusion allein könne so heftige Bewegungen nicht verursachen,

---

Wistinghausen: Experimenta quaedam de bilis in absorptione adipum neutralium partibus. Diss. Inaug. Dorpati Liv. 1851. Ref. von STEINER. Arch. f. Physiol. 1873. S. 139.

Gad: Arch. f. Physiol. 1878. S. 187. Ueber die Versuchsbedingungen siehe W. LOEWENTHAL. Arch. f. Physiol. 1897. S. 258.

Quincke: PFLÜGER's Archiv. 19. S. 129.

vielmehr handele es sich um Wirkungen der molekularen Attractionskräfte. Die Oberflächenspannung zwischen Fett und Wasser werde durch die Entstehung von Seife in der unmittelbaren Umgebung des Fetttropfens stark vermindert, sodass sich der Tropfen an den Stellen, wo zuerst Seifenbildung eintrete, plötzlich viel weiter ausbreiten könne. Dadurch kämen neue Stellen des Fettes mit der alkalischen Lösung in Berührung, sodass sich die Ausbreitung wiederhole und schliesslich zu feiner Vertheilung des Fettes führe. Eine Ausnahme, die Gad nicht zu erklären gewusst hatte, dass nämlich Ricinusöl die „spontane Emulsion" nicht gebe, erklärt sich nach Quincke durch die allzugrosse Löslichkeit der Ricinusseife, denn es kann keine seifehaltige Flüssigkeitsschicht zu Stande kommen.

Von der freien Hydrodiffusion.

Die Form, in der sich die Erscheinung der Hydrodiffusion zuerst der Beobachtung darbot, war die, wo die beiden Flüssigkeiten, die ineinander diffundiren sollen, durch eine Scheidewand getrennt sind. Dagegen ist der einfachste Fall, dass sich zwei Flüssigkeitsmengen ohne Scheidewand durch Diffusion vermischen, erst vor verhältnissmässig kurzer Zeit von Thomas Graham in das Gebiet der Experimentaluntersuchung gezogen worden.

Die freie Hydrodiffusion verhält sich ähnlich der freien Aërodiffusion, obschon diese durch die molekularen Anziehungskräfte der Flüssigkeitstheilchen, jene durch die Expansivkräfte der Gase hervorgebracht wird. Zwei Flüssigkeiten, die sich vermischen können und durch nichts als ihr specifisches Gewicht von einander getrennt sind, durchdringen einander, bis sie Lösungsgleichgewicht erreicht haben, das heisst, bis jeder Theil gleiche procentische Zusammensetzung hat. Die Mischung der Flüssigkeiten

geht aber erstaunlich viel langsamer vor sich als die der Gase.

Der Untersuchung steht die Schwierigkeit im Wege, die beiden Flüssigkeiten mit einander in Berührung zu bringen, ohne sie gleich unmittelbar mit einander zu vermischen. Dies bewerkstelligte Graham bei seinem Grundversuche, indem er ein kleines Gefäss mit Kupfervitriollösung, dessen Oeffnung durch eine darübergeschobene Glasplatte verschlossen war, auf den Boden eines grösseren Gefässes mit destillirtem Wasser brachte, und dann unter Wasser die Glasplatte vorsichtig entfernte. Anfänglich bleibt die specifisch schwerere Kupferlösung in dem kleineren Gefässe stehen, allmählich aber sieht man die blaue Farbe des Kupfervitriols sich immer mehr und mehr in dem Wasser verbreiten. Es dauert lange Zeit (viele Tage), bis die gesammte Flüssigkeit gleichmässig blassblau gefärbt ist. Um den Beweis zu führen, dass nicht Strömungen, sondern eine wirkliche Diffusionserscheinung die Ursache der Vertheilung ist, hat Graham statt des Wassers eine Lösung von japanischem Pflanzenleim (Gelose) genommen, der mit der Zeit erstarrte. Am Schlusse des Versuches war die Salzlösung vollständig in einem Leimkuchen eingeschlossen, der vom Kupfervitriol gleichmässig durchdrungen war. Unabhängig von Strömungen hatte also hier Diffusion stattgefunden, und zwar ebenso schnell wie im Wasser.

Auch mit Stärkekleister, gerinnbarem Eiweiss, thierischem Schleim würde der Versuch wohl ebenso ausfallen.

Es ergiebt sich ferner, dass die Diffusion um so rascher geschieht, je grösser die Berührungsfläche, je concentrirter die Lösung und je höher die Temperatur ist.

Fick hat gezeigt, dass der Vorgang nach demselben Gesetze stattfindet wie die Verbreitung der Wärme und Elektricität nach Fourier und Ohm. In einer Wasser-

---

(Gelose): Von der Alge Gelidium corneum. Agar-Agar.
Fick: Pogg. Ann. 94. 1855. S. 59.

schicht, auf deren einer Seite ein relativ unendlicher Salzvorrath, auf deren anderer Seite eine relativ unendliche Menge destillirten Wassers vorhanden ist, ergiebt sich ein stabiler Zustand dynamischen Gleichgewichtes. Mit einem Heber, besser mit einem Glaskügelchen an einer empfindlichen Wage, kann man das specifische Gewicht der Lösung an jeder beliebigen Stelle bestimmen. Daraus ist dann die an der betreffenden Stelle durchgehende Menge der gelösten Substanz zu berechnen.

Die Diffusibilität der verschiedenen Salze ist, auch wenn Concentration und Temperatur gleich sind, für verschiedene Salze verschieden. Diese Verschiedenheit wird durch eine Zahl, die Diffusionsconstante, ausgedrückt. Die Diffusionsconstante des Chlornatriums zum Beispiel verhält sich zu der des Chlorkaliums wie 1 : 1,2, und überhaupt sind alle Kalisalze stärker diffusibel als die Natronsalze. Folgende Zahlen geben die Diffusibilität einiger Stoffe unter gleichen Bedingungen an:

H_2SO_4	69
NaCl	58
$MgSO_4$	27
Zucker	26
Gummi arab. . .	13
Eiweiss	3

Man sieht, dass die krystalloïden Körper (echten Lösungen) erheblich schneller diffundiren, als die colloïden (unechten Lösungen). Noch deutlicher geht dies aus folgender Zusammenstellung hervor:

Es verhält sich die Diffusibilität von

Kochsalz : Traubenzucker (16,6 pCt.) = 2,2 : 1

Kochsalz : Eiweisslösung (16,6 pCt.) = 19,2 : 1.

Sehr merkwürdig ist eine Mittheilung von ROBERTS

Durchgehende Menge: Vgl. Anm. u. Zusätze 61.

W. Chandler Roberts: On a case of rapid diffusion of molten metals. Report of the 53. Meeting of the British Associat. 1883. London 1884. S. 402. Vgl. auch Anm. u. Zusätze 6..

über die Diffusion geschmolzener Metalle. GUTHRIE hatte die Diffusionsvorgänge an Metallen untersucht, indem er Amalgame herstellte, die auch bei gewöhnlicher Temperatur flüssig blieben, und fand hier nur langsame Vermischung. ROBERTS aber stellte Versuche mit in der Hitze geschmolzenen Metallmengen an. Er fand für Kupfer und Zinn ebenfalls nur sehr geringe Geschwindigkeit, für Gold und Silber in Blei aber so schnelle Vertheilung, dass sie mit der der Gase zu vergleichen ist.

Sind in der diffundirenden Lösung zwei oder mehr Salze zusammen enthalten, so wird die verschiedene Geschwindigkeit des Diffusionsvorgangs am deutlichsten, indem das eine Salz schon vollständig in das umgebende Wasser ausgetreten sein kann, wenn das andere seine Concentration noch nicht merklich geändert hat. GRAHAM schlug vor, diesen Umstand zu einer neuen Scheidungsmethode zu verwenden, durch die man Chloride von Sulfaten, Kaliumsalze von Natriumsalzen, Natriumsalze von Magnesiumsalzen, kurz, die verschieden diffusibelen Gruppen aus gemeinsamer Lösung ausscheiden könnte, ungefähr so, wie bei der Destillation die Stoffe von verschiedenem Siedepunkte getrennt werden. Selbst chemische Verbindungen können (ebenso wie bei der Destillation) auf diese Weise gelöst werden: Aus Alaunlösung diffundirt leicht das Kaliumsulfat, während Aluminiumsulfat zurückbleibt. Die Genauigkeit dieser Methode würde von dem Unterschied der Zeiträume abhängen, in denen die Diffusion der verschiedenen gelösten Körper gleich weit vorgeschritten ist. Hierfür fand GRAHAM folgende Verhältnisse:

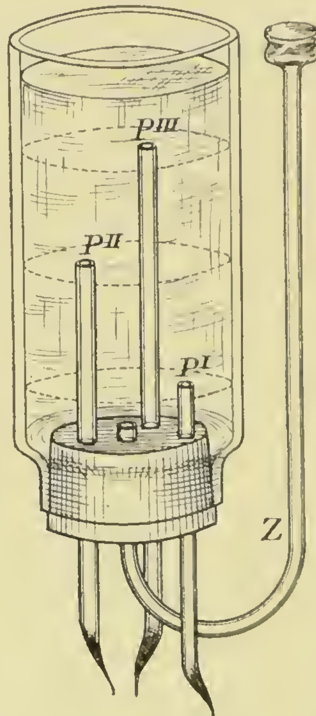
Salzsäure	1
Seesalz	2,33
Magnesiumsulfat	7
Zucker	7
Albumin	49
Caramel	98

Da Erhöhung der Temperatur die Diffusionsgeschwin-

digkeit steigert, muss für die Trennung je zweier Substanzen eine bestimmte Temperatur die günstigste sein.

Ein Versuch von C. Ludwig erläutert diese Beobachtungen Graham's und gestattet zugleich noch weitergehende Betrachtung. Ein weiter Glascylinder (Fig. 10) ist unten durch einen mehrfach durchbohrten Kork geschlossen. Durch eine der Oeffnungen mündet in den Cylinder ein enges

Fig. 10.



Hydrodiffusion nach Ludwig. Lehrb. d. Physiol. I. Fig. 5.
Z Zuleitung, p I II III ausgezogene Röhren,
um Proben zu entnehmen.

Zuflussrohr Z, durch die anderen sind Röhren bis zu bestimmten verschiedenen Höhen, pI, pII, pIII, in den Cylinder eingeschoben, die am unteren Ende ausgezogen und zugeschmolzen, oder besser durch Kautschukschläuche mit Quetschhähnen geschlossen sind. Der ganze Apparat wird zunächst mit reinem Wasser gefüllt und dann durch das Zuflussrohr das zu untersuchende Lösungsgemisch ein-

---

Ludwig: Vgl. Physiologie. I. 1852. S. 58.

gegossen. Wegen der Enge der Oeffnung fliesst die Lösung langsam ein und bildet als specifisch schwerere Flüssigkeit eine Schicht im unteren Theil des Gefässes. Von der Oberfläche dieser Schicht beginnt alsbald die Diffusion der gelösten Salze in das Wasser. Vermittelst der verschiedenen Röhren kann man nun aus verschiedenen Höhen der Flüssigkeitssäule Proben entnehmen, und so dem Verlauf des Diffusionsvorganges folgen. Enthielt die Lösung Kochsalz und Natriumsulfat zu gleichen Theilen, so erhält man aus der obersten Röhre, pIII, schon Kochsalz in grosser Menge, wenn noch keine Spur von Natriumsulfat im Wasser ist.

Ferner zeigt sich aber, dass auch der schneller diffundirende Stoff, hier also das Kochsalz, sich langsamer verbreitet, als wenn er allein vorhanden wäre. Die Gegenwart eines langsamer diffundirenden Salzes vermindert also die Diffusionsgeschwindigkeit.

Graham behandelte auch den Fall, dass eine Lösung in eine andere diffundirt, indem er eine Lösung von kohlensaurem Natron mit Lösungen von Kochsalz und von Natriumsulfat in Berührung brachte. Das kohlensaure Salz trat in beiden Fällen in gleicher Menge in die beiden anderen Lösungen über, in beide aber in geringerer Menge als in reines Wasser.

Nun ist noch ein Fall zu betrachten, zu dem bei den Gasen keine Analogie zu finden ist, nämlich der Fall, dass es sich um nicht mischbare, indiffusible Flüssigkeiten handelt. Offenbar ist dadurch dem Diffusionsvorgang ein Hinderniss in den Weg gestellt, so dass diese Versuchsanordnung einen Uebergang zur Membrandiffusion darstellt. Haben zwei nicht mischbare Flüssigkeiten, die nach dem specifischen Gewicht übereinander geschichtet sind, denselben Körper gelöst, und zwar in ungleicher

---

Eine Lösung in eine andere: Vgl. Ludwig, Physiologie. I. 1852. S. 59.

Menge, so wirkt das Bestreben nach Lösungsgleichgewicht durch ihre Berührungsfläche hindurch und erzeugt einen Diffusionsvorgang. Wenn man Salmiak (NH_4Cl) mit Mandelöl verreibt und von dem entstehenden Brei Stücke in Wasser wirft, so sinken diese, weil der specifisch schwerere Salmiak das Oel hinunterzieht, zunächst zu Boden. Nun zieht aber das Wasser den Salmiak durch das Oel hindurch an, sodass die Klümpchen nach kurzer Zeit leicht genug werden, um aufzusteigen. Schwimmen sie an der Oberfläche, so kann man sehr gut sehen, wie in den Oeltropfen die Salzkrystalle gleichsam in einem Sacke liegen, von dem Schlieren in die darunter befindliche Flüssigkeit hinabziehen, und es ist nicht zweifelhaft, dass durch die umgebende Oelhaut hindurch die Diffusion des Salzes ins Wasser stattfindet.

Schüttelt man Wasser mit Aether, so erhält man zwei Flüssigkeiten, von denen die eine schwerer als die andere ist, und die sich daher zu zwei Schichten anordnen, deren Grenze, wegen der verschiedenen Lichtbrechung, deutlich wahrzunehmen ist. Die untere Schicht, die man als Aetherwasser bezeichnen kann, enthält 9 Theile Wasser auf 1 Theil Aether, die obere leichtere, die Wasseräther heissen möge, enthält 1 Theil Wasser auf 36 Theile Aether. Diese beiden Flüssigkeiten sind nicht weiter mit einander mischbar. In beiden sind Oxalsäure ($C_2H_2O_4$) und Sublimat ($HgCl_2$) löslich, sodass man folgenden Versuch anstellen kann: Man trägt Sublimat bis zur Sättigung ein, schüttelt dann durch, oder lässt die Flüssigkeit längere Zeit ruhig stehen, dann hat sich das Sublimat im Verhältniss der Sättigungscapacitäten vertheilt. Es verhält sich die Löslichkeit des Sublimats in Aether zu der in Wasser wie 3,43 : 1, und diesen Werthen entspricht am Schluss des Versuchs der Sublimatgehalt der Flüssigkeiten. Bei der Oxalsäure ist das Löslich-

---

Zwei Schichten: Siehe Anm. u. Zusätze 62.

keitsverhältniss 1 : 6,750. Ist von der Substanz weniger vorhanden, als zur Sättigung erforderlich wäre, so entspricht doch das Verhältniss der gelösten Mengen den Löslichkeiten.

Ein Fall, der sehr schön wäre, wenn er sich verwirklichen liesse, wäre der, dass drei Schichten übereinander stünden, von denen die erste mit der zweiten, und die zweite mit der dritten nicht mischbar wäre, wohl aber die erste mit der dritten. Von L'Hermite ist behauptet worden, dass in diesem Falle Diffusion von der ersten zur dritten Schicht durch die zweite hindurch stattfände.

Von der Capillarität.

Nun bringen wir zwischen den diffusibeln Flüssigkeiten eine Scheidewand an. Allein es zeigt sich, dass hier die Scheidewand sich nicht mehr passiv verhält wie in dem Fall der Hydroaërodiffusion, wo sie bloss als Gerüst für die Flüssigkeit diente, sondern sie bedingt durch ihre molekularen Anziehungskräfte wesentlich die Erscheinungsweise des Diffusionsvorganges. Sie spielt in Bezug auf zwei Flüssigkeiten ungefähr dieselbe Rolle, wie früher die Flüssigkeit der feuchten Scheidewand in Bezug auf zwei Gase.

Es gilt daher zunächst, uns mit den Gesetzen bekannt zu machen, die das Eindringen der tropfbaren Flüssigkeiten in so enge Räume, wie die Poren der Scheidewand sind, beherrschen. Diese Gesetze sind enthalten in einem Theile der Physik, der nächst Optik

---

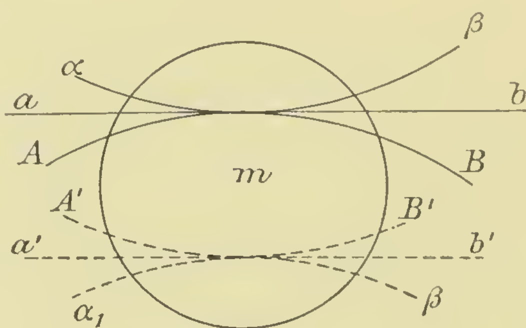
Löslichkeitsverhältniss: Statt 3,431 : 1 fand Brücke 3,140 : 1 und 3,414 : 1. Statt 1 : 6,750 fand er 1 : 6,754 und 1 : 7,456.

L'Hermite: Cosmos. 4. Année. 6. Vol. p. 156. 9. Février 1855. Vgl. auch Fortschritte der Physik. 10. S. 22. Die Beobachtung konnte weder E. du Bois-Reymond noch Helmholtz bestätigen.

und Akustik die vollkommenste mathematische Ausbildung besitzt, nämlich der Lehre von der Capillarität.

Die Erscheinungen der Capillarität lassen sich zurückführen auf die Cohäsion der Flüssigkeiten und ihre Adhäsion an festen Oberflächen. Als Cohäsion bezeichnet man die zwischen den Molekülen eines Körpers bestehende Anziehungskraft, die nur auf sehr geringe, molekulare Entfernungen hin wirksam ist. Wird nun jedes Molekül der Flüssigkeit von den unmittelbar benachbarten Molekülen angezogen, so sind offenbar die Moleküle an der Oberfläche einer einseitigen Anziehung ausgesetzt. Es sei m (Fig. 11) der Mittelpunkt eines solchen Moleküls, so muss

Fig. 11.



Oberflächenspannung bei ebener convexer und concaver Oberfläche.

von der Sphäre, innerhalb deren die Cohäsionskräfte wirken, derjenige Theil, der über der Oberfläche a b liegt, also nicht von Flüssigkeitstheilchen erfüllt ist, für die Anziehung ausfallen. Von dem übrig bleibenden Theil der Sphäre hebt die Anziehung der über dem Molekül gelegenen Nachbarmoleküle die der darunter gelegenen auf, bis zu einer Grenze a′b′, die zur Oberfläche symmetrisch zu denken ist, also gleichsam das Spiegelbild der Oberfläche darstellt. Derjenige Theil der anziehenden Kräfte, der dem Stücke der Sphäre unter dem Spiegelbild der Oberfläche entspricht, wirkt also einseitig auf die Oberflächenmoleküle, und bringt dadurch den Druck hervor, den man als „Oberflächenspannung“ bezeichnet.

Der Oberflächendruck ist die Ursache, dass Flüssigkeiten, die von der Einwirkung äusserer Kräfte befreit sind, wie z. B. freischwebende Tropfen, diejenige Gestalt anzunehmen streben, bei denen sie die kleinste Oberfläche im Verhältniss zur Masse haben, d. h. im einfachsten Falle Kugelgestalt.

Grössere Quecksilbertropfen auf ebener Unterlage sind durch die Wirkung der Schwere abgeplattet, bei minimalen Tropfen dagegen kommt die Wirkung der Oberflächenspannung fast vollständig rein zur Geltung, und solche minimalen Quecksilbertröpfchen erscheinen vollkommen kugelförmig.

Die Spannung der Oberfläche widersetzt sich bis zu einem gewissen Grade dem Eintauchen eines festen Körpers, sofern er nicht selbst die Flüssigkeit anzieht, d. h. von ihr benetzt wird. Körper, die specifisch schwerer sind als Wasser, wie z. B. eine Nähnadel, die durch einen kaum merkbaren Fettüberzug unbenetzbar gemacht ist, können dadurch auf der Oberfläche schwimmen.

Aus der vorhergehenden Betrachtung folgt ohne weiteres, dass der Oberflächendruck am kleinsten sein muss für concave (vgl. $\alpha\beta$ und $\alpha_{,}\beta_{,}$ der Figur), mittelgross für ebene, am grössten für convexe Oberflächen (vgl. AB und A'B' der Figur).

Demnach muss auf der äusseren convexen Oberfläche einer Blase ein stärkerer Druck vorhanden sein, als auf der inneren concaven, wodurch eine Compression der in der Blase enthaltenen Luft bedingt wird. Diese lässt sich an Seifenblasen leicht nachweisen.

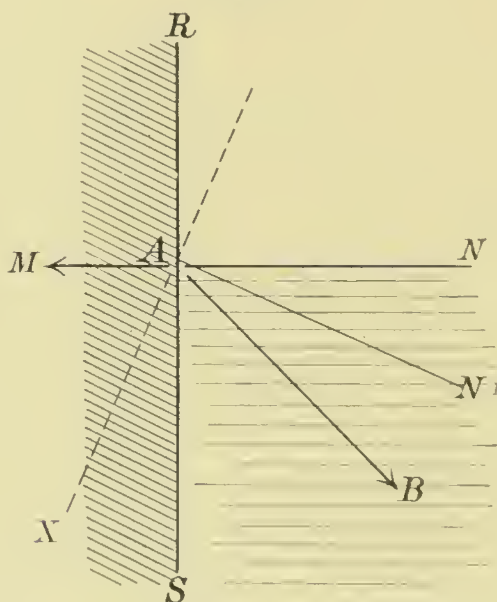
Plateau fand, indem er verschieden geformte Drahtgestelle in Seifenschaum tauchte, dass die entstehenden Membranen stets eine Form annahmen, bei der der Krümmung, von der die Grösse des äusseren Druckes abhängt, durch eine gleich starke entgegengesetzte Krümmung in senkrechter Richtung das Gleichgewicht gehalten wurde, oder aber, dass die Membranen sich eben ausspannen, wo

dann die Bedingungen für beide Seiten ebenfalls gleich werden.

Die Gestalt der Flüssigkeitsoberfläche wird nun durch Berührung mit einem eingetauchten Körper derart beeinflusst, dass convexe oder concave Krümmungen der Fläche entstehen. Steht die Flüssigkeit z. B. in einer engen Röhre allseitig unter dem Einfluss der umgebenden Wand, so ist die ganze Oberfläche convex oder concav gekrümmt, und nimmt die Form des „Meniscus" an.

Baumgärtner leitet die concave oder convexe Gestalt des Meniscus auf folgende einfache Weise ab: RS sei die

Fig. 12.



Entstehung des Randwinkels durch Cohäsion und Adhäsion.

feste Wand, AN die Oberfläche der Flüssigkeit. Das Molekül A wird durch die Wand nach M, durch das Wasser nach B gezogen. Ist AX die Resultante, so muss die Oberfläche darauf senkrecht, also concav sein, und fällt in die Richtung AN^1. Umgekehrt aber wird sie con-

---

Baumgärtner: Die Naturlehre in ihrem gegenwärtigen Zustande. Vgl. Anm. u. Zusätze 62.

vex sein, wenn die Resultante zwischen AB und AS liegt. Mit anderen Worten, der Meniscus ist concav, wenn die Adhäsion die Cohäsion überwiegt, convex, wenn die Cohäsion die Adhäsion überwiegt. Ueberwiegt die Cohäsion, so trennt sich die Flüssigkeit als zusammenhängende Masse von dem festen Körper, überwiegt die Adhäsion, so bleibt sie daran haften, sie benetzt ihn.

Diese Verhältnisse finden ihren wissenschaftlichen Ausdruck in der Lehre vom „Berührungswinkel" zwischen Flüssigkeit und festem Körper, die man auch zum Ausgangspunkte für die Betrachtung der Capillaritätserscheinungen überhaupt machen kann.

Unter Berührungswinkel versteht man den Winkel, der von der Tangente an die Krümmung der Flüssigkeit (an deren äusserstem Rande) und der Ebene der Wand eingeschlossen wird. Dieser Winkel lässt sich durch unmittelbare Beobachtung an Tropfen, die sich auf einer ebenen Fläche ausbreiten, feststellen.

Es zeigt sich, dass für die gleichen Substanzen der Berührungswinkel stets derselbe ist, da der Einfluss der Schwere verschwindet gegenüber den Kräften der Cohäsion und Adhäsion in nächster Nähe. Der Berührungswinkel ist für Glas und Wasser grösser, für Quecksilber kleiner als ein Rechter. Im ersteren Falle überwiegt die Adhäsion, im zweiten die Cohäsion.

Mit der Lehre vom Berührungswinkel in engster Beziehung stehen die Erscheinungen der Ausbreitung von Flüssigkeiten auf festen Körpern, und die der Vertreibung stehender Tropfen durch andersartige Flüssigkeiten.

Das Vertreiben hat nach P. du Bois-Reymond nichts mit der Adhäsion zu thun, sondern allgemein wird die weniger flüchtige von der flüchtigeren Substanz auf einer wie immer beschaffenen Unterlage vertrieben. Alkohol

---

P. du Bois-Reymond: Untersuchungen üb. d. Flüssigkeiten etc. Berlin 1854. S. 51, und Pogg. Ann. 104, 1857, S. 139.

vertreibt Oeltropfen von der Butter, von Wachs, Stearin, Terpenthin, ebenso Wassertropfen vom Steinsalz, vom Salpeter. Die Vertreibung findet eben statt trotz, nicht wegen der Adhäsion.

Ein mit Paraffin ausgeschwenktes Glas kann man mit einer kalten Flüssigkeit, Wasser (Blut darin langsamer gerinnend), Säuren, selbst Alkohol, füllen und ausgiessen, ohne dass Ein Tropfen zurückbleibt — freilich nicht mit Petroleum (LANDOLT). Hier ist eine interessante Beziehung des Mangels an chemischer Verwandtschaft zu dem an Adhäsion.

Bringt man eine Schicht Oel auf Wasser und darauf einen Tropfen Alkohol, so breitet dieser sich aus, es ent-

Fig. 13.



Ausbreitungserscheinung.

steht eine Beule im Wasser, bis der Alkohol verdunstet ist. Hat man Gelegenheit den Durchschnitt zu beobachten, so findet man, dass Wirbel im Oel die primären Phänomene sind, von denen die Bildung der Beule abhängt.

Die beschriebenen Phänomene treten nun beim Eintauchen enger Röhren in so auffälliger Weise hervor, dass hiervon die ganze Erscheinung ihren Namen Capillarität, „Haarröhrchenanziehung“, erhalten hat. Wenn man nämlich eine enge Röhre in eine sie benetzende Flüssigkeit taucht, so entsteht in ihr ein concaver Meniscus. Die Adhäsion der Flüssigkeit zur Wand überwiegt die Cohäsion. Bei concaver Form der Oberfläche ist nun, wie oben gezeigt wurde, der Oberflächendruck geringer als bei

---

Paraffin: Sehr bequem zum Abwägen von Flüssigkeiten, wenn das Glas einmal tarirt ist.

ebener Oberfläche. Folglich steht die Flüssigkeit im Innern der Röhre unter geringerem Drucke als ausserhalb, und sie wird also in der Röhre emporgetrieben.

Wird die Röhre nicht benetzt, wie das zum Beispiel bei Quecksilber und Glas der Fall ist, so verhält sich all' dies umgekehrt. Der Meniscus ist dann convex, und die Flüssigkeit steht in der Röhre tiefer als ausserhalb (Capillardepression).

Das Gesetz der communicirenden Röhren wird dergestalt Lügen gestraft, sobald es sich um so enge Röhren handelt, dass die Adhäsionswirkung der Wände merklich die ganze Oberfläche der Flüssigkeit beeinflusst.

Aus diesem Grunde muss zu genauen Barometerbeobachtungen das Barometerrohr möglichst weit sein, oder es muss eine entsprechende Correctur der Ablesung für die Capillardepression gemacht werden.

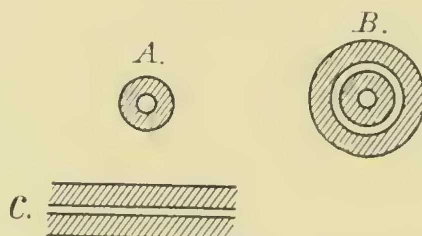
Die Höhe, bis zu der eine Flüssigkeit im Capillarrohr aufsteigt, ist umgekehrt proportional dem Durchmesser der Röhre. Sie ist ferner von der Temperatur abhängig, indem sie mit wachsender Temperatur abnimmt, und endlich von der besonderen Beschaffenheit der Flüssigkeit, in Beziehung auf das Material der Röhrenwand. Hierbei kommt es nur auf die unmittelbar mit der Flüssigkeit in Berührung stehende Oberfläche an. Die dünnste Fettschicht hebt zum Beispiel die Benetzbarkeit des Glases, mithin die Capillarerhebung, vollkommen auf, ein Beweis, dass die in Betracht kommenden Kräfte Molekularkräfte sind, die nur auf unmessbar kleine Entfernung wirken. Von den verschiedenen Flüssigkeiten zeigt Wasser in Glasröhren die grösste Capillarerhebung: nach Gay Lussac bei 1 mm Durchmesser und 8,5° gegen 30 mm, nach Hook und Musschenbroek in sehr engen Röhren sogar 550—580 mm Höhe.

Salzlösungen, Alkohol, Terpenthin, Olivenöl steigen weniger hoch.

Ebenso wie das enge Lumen einer Röhre wirkt der

Spaltraum zwischen zwei nahe aneinanderstehenden Flächen. Damit die Flüssigkeit in diesem Falle ebenso hoch steige, wie in einer Capillarröhre, müssen aber die beiden Flächen einander bis auf die Hälfte des Röhrendurchmessers genähert werden. Ist also eine Capillarröhre von 2 mm lichtem Durchmesser in eine weitere Röhre hineingeschoben, sodass um sie herum ein Spaltraum entsteht, so darf

Fig. 14.



Capillarräume gleicher Steighöhe.
A. Capillarrohr von 2 mm Durchmesser. B. Mantelraum mit 1 mm Wandabstand. C. Capillarspalt von 1 mm Wandabstand.

der Abstand der Capillarröhre von der Mantelröhre nur 1 mm betragen, wenn die Flüssigkeit darin ebenso hoch steigen soll, wie im Innern der Röhre. Schon Newton führt dies als Erfahrungssatz an.

Werden zwei senkrechte Glasplatten, die einander mit einer Kante berühren, während die Kanten an der andern Seite einen gewissen Abstand haben, in Wasser getaucht, so steigt es an der Seite, wo die Platten einander berühren, infolge der starken Capillarwirkung sehr hoch auf, an der entgegengesetzten Seite bleibt es, wegen des grösseren Abstandes der Platten, unten stehen. In den dazwischen liegenden Stellen folgt die Steighöhe dem Verlauf einer bestimmten Curve, nämlich einer auf die Berührungslinie der Platten und die Wasserlinie als Assymptoten bezogenen gleichseitigen Hyperbel. Die Natur selbst zeichnet hier sichtbar die Curve auf, deren Formel dem Phänomen zu Grunde liegt.

Ist die Capillarröhre kürzer, als die Steighöhe der Flüssigkeit unter den gegebenen Bedingungen sein würde,

so könnte man erwarten, die Flüssigkeit oben überfliessen zu sehen. Dieser Fall kann jedoch nie eintreten, weil im Augenblick, wo die Flüssigkeit oben angelangt ist, der Meniscus aufhört concav zu sein, sodass die Ursache zur weiteren Erhebung der Flüssigkeit verschwindet. Damit er überfliessen könnte, müsste er convex werden, und das kann nicht geschehen, wenn nicht eine treibende Kraft vorhanden ist, um die wachsende Oberflächenspannung zu überwinden. Umgekehrt kann aber in einer längeren Capillarröhre, die tief in das Wasser eingetaucht war, beim Herausheben eine längere Flüssigkeitssäule stehen bleiben, als die Steighöhe betragen hatte. Der Theorie nach würde unter diesen Umständen die doppelte Flüssigkeitssäule von den Capillarkräften getragen werden können, indem sich am unteren Ende der Röhre ein Tropfen, also eine convexe Oberfläche bildet, deren Spannung der Schwere entgegenwirkt. Beim Versuch hat die Form des Röhrenendes einen störenden Einfluss auf die Gestalt des unteren Meniscus: ist die Röhre dickwandig, so breitet sich die Flüssigkeit aus, sodass der Meniscus flacher und seine Spannung geringer ausfällt.

Wie Lippmann, indem er eine Beobachtung Kühne's verfolgte, gefunden hat, ist die Oberflächenspannung eines Quecksilbermeniscus, der mit verdünnter Schwefelsäure in Berührung steht, in hohem Grade abhängig von der galvanischen Polarisation. Leitet man also einen galvanischen Strom durch eine Capillarröhre, die zum Theil mit Säure, zum Theil mit Quecksilber gefüllt ist, so verändert man die Spannung des Meniscus, und es erfolgt eine entsprechende Verschiebung des ganzen Quecksilberfadens. Da innerhalb gewisser Grenzen die Aenderung der Oberflächenspannung der elektromotorischen Kraft proportional ist, kann man sich dieser Vorrichtung als Elektrometer bedienen. Durch Anwendung von Capillaren, die

---

Lippmann: Pogg. Ann. 149. 1873. S. 546.

nur wenige Tausendstel Millimeter Weite haben, kann die Empfindlichkeit des Capillarelektrometers so hoch gesteigert werden, dass es gelingt, die Stromschwankungen, die durch die einzelnen Contractionen des Herzmuskels entstehen, am lebenden Menschen nachzuweisen.

Ein fester Körper, der von Poren durchsetzt ist, oder eine Anhäufung von kleinen Körpern, die durch feine Spalträume getrennt sind, bildet ein sogenanntes Capillaraggregat. Kommt ein solches Capillaraggregat mit Flüssigkeit in Berührung, so steigt diese in die Capillarräume hinein, ebenso wie sie in eine einzelne Capillarröhre hineinsteigt, und der ganze Körper durchtränkt sich so mit der Flüssigkeit.

MATTEUCCI und CIMA untersuchten die Steighöhen einer Reihe von Lösungen in einer Röhre von 2 cm Durchmesser, die mit weissem, gesiebtem Sande angefüllt war.

Tabelle der Ergebnisse von MATTEUCCI und CIMA.

12° C. Alle Lösungen 10° BAUMÉ.

$(NH_4)_2CO_3$	62 mm
$CuSO_4$	75 "
Na_2CO_3	85 "
NaCl	58 "
H_2O	60 "
Serum	70 "
Eiweiss, H_2O } ana	35 "
Milch	55 "
Gummi, Stärke, Oel fast	0 "

Uebrigens steigt die Flüssigkeit um so langsamer, je zäher sie ist, und um so schneller, je höher die Temperatur. Die Grenze ist von der Verdunstung unabhängig.

Am lebenden Menschen: A. D. WALLER. Transact. Royal Soc. 1889, und Arch. f. Physiol., 1890, S. 186.

Matteucci und Cima: Fortschritte der Physik. 1845. S. 25.

denn die Lösungen steigen ebenso hoch in mit Wasserdampf gesättigtem Raum.

Hauksbee sah Wasser in gesiebter und fest gedrückter Asche in 1—2 Wochen 800—1000 mm hoch steigen. Nach Perrault erhebt sich Wasser in feinem weissen Sande 18 Zoll hoch.

In der Natur kommt es vielfach vor, dass sich unorganische Capillaraggregate mit Flüssigkeit füllen. Sand und Erde, Lehm, Thon, Kreide und viele andere Gesteinsarten tränken sich mit Wasser. Vom Hydrophan war schon oben die Rede. Selbst bei den festesten Felsarten kommen feine Spalten in der Oberfläche vor, in die sich Wasser hineinziehen kann. Dieser Umstand ist für viele geologische Erscheinungen von grösster Bedeutung, weil das in den Haarrissen enthaltene Wasser, wenn es friert, durch seine Ausdehnung die Spalten mit ungeheurer Kraft erweitert, und dadurch den Felsen zu sprengen vermag.

Noch wichtiger ist die Eigenschaft des Thons, sich mit Wasser zu tränken, und das Wasser festzuhalten, sodass er eine undurchlässige Schicht bildet. Ueber einer solchen Schicht sammelt sich Wasser an, das unter Umständen, nach niedriger gelegenen Stellen ablaufend, als Quelle zu Tage tritt. Zwischen zwei Thonschichten kann sogar ein beträchtlicher Druck in dem angesammelten Wasser bestehen, sodass es, wenn die obere Schicht durchbohrt wird, aus dem Bohrloch von selbst emporspringt, und eine künstliche Quelle, einen sogenannten artesischen Brunnen, bildet.

Eine eigenthümliche technische Verwendung der Imbibitionsfähigkeit ist die künstliche Färbung von Achaten, die zu Oberstein im Nahethal geübt wird. Man legt die Achate in verdünnten Honig, der in die amorphen Schichten einzieht, und dann durch Einlegen in Schwefelsäure zu

---

Hydrophan: Vgl. S. 21.

Caramel verbrannt wird, sodass die imbibirten Schichten sich färben.

Analog den Erscheinungen bei der Absorption von Gasen durch feste Körper, hat auch die Tränkung von Capillaraggregaten ihre besonderen Begleiterscheinungen. So entsteht nach POUILLET beim Eindringen von Wasser in Capillaraggregate Wärme, was zum Theil auf die Reibung, zum Theil aber auf eine Compressionswirkung zurückzuführen ist.

Nach JAMIN ist nämlich Wasser, das in Zinkoxyd eindringt, einem Drucke von mehr als 5 Atmosphären, in Stärke sogar einem Drucke von mehr als 6 Atmosphären ausgesetzt, und gefriert daher erst bei Temperaturen, die beträchtlich unter Null liegen. Dies gilt nach SORBY auch schon für Wasser in Capillarröhren.

In dieser Thatsache ist noch eine neue Ursache dafür zu erkennen, dass organische Gewebe eine viel tiefere Temperatur als Null Grad ertragen, ohne zu gefrieren.

Eine ähnliche eigenthümliche Wirkung der Capillarkräfte entdeckte LIEBREICH bei chemischen Reactionen. Die Erscheinung zeigt sich darin, dass die Reaction zwischen zwei Flüssigkeiten nicht in deren ganzer Ausdehnung vor sich geht, sondern an einzelnen Stellen ausbleibt, die LIEBREICH deswegen als „todte Räume“ bezeichnet. Solche todte Räume bilden die beiden Enden der Flüssigkeitssäule in einer Capillarröhre unmittelbar am Meniscus, während in zugeschmolzenen Capillaren die Reaction bis an's Ende der Röhre vordringt.

Absorption von Gasen: Vgl. S. 39.
Jamin: Vgl. Anm. u. Zusätze 64.
Organische Gewebe: Vgl. S. 68.

Von der Quellung.

Von den Capillaritätserscheinungen ist streng zu sondern der Vorgang der Imbibition oder Quellung. Bei der Tränkung eines Capillaraggregates findet nämlich keine Volumänderung statt, bei der Imbibition dagegen quillt, wie schon der deutsche Ausdruck „Quellung" sagt, der imbibirte Körper auf, und schrumpft beim Eintrocknen wieder zusammen. Für die besondere Natur des Vorgangs ist der Umstand bezeichnend, dass er im wesentlichen nur an Stoffen organischen Ursprungs beobachtet wird. Trotzdem werden in Lehrbüchern der Physik häufig Quellungserscheinungen fälschlich auf Rechnung der Capillarität gebracht.

Mit grösserem Rechte kann der Process der Quellung als dem der Lösung verwandt bezeichnet werden. Denn nach H. Quincke findet bei der Imbibition Contraction statt: Das Gesammtvolum des quellenden Körpers und der Flüssigkeit ist nach der Quellung kleiner als zuvor. Stücke von gekochtem Hühnereiweiss, Rippenknorpel, Blase, Sehne, elastischem Gewebe (Ligamentum nuchae vom Ochsen) wurden in ein mit destillirtem Wasser vollständig gefülltes, mit engem Steigrohr versehenes Gefäss eingeschlossen. Im Verlauf der Quellung sank der Wasserstand im Steigrohr. Die beobachtete Volumabnahme verhielt sich zur Menge des aufgenommenen Wassers bei

Eiweiss wie	1 : 33,5
Rippenknorpel	1 : 146,9
Blase	1 : 115,7

Dasselbe Ergebniss lässt sich auch durch Bestimmung

Volumänderung: Vgl. Anm. u. Zusätze 65.
Quincke: Vgl. Anm. u. Zusätze 66.
Steigrohr: * Apparat wie der von Gruithuisen und Erman beim Muskel angewendete.

des specifischen Gewichts vor und nach der Quellung bestätigen.

Ebensowenig wie um blosse Capillarerscheinungen handelt es sich bei der Quellung um einen chemischen Vorgang, denn das Wasser wird keineswegs in einem constanten Verhältniss, etwa wie Krystallwasser, aufgenommen, und es kann überdies durch Trocknen und durch Auspressen entfernt werden. So verlieren durch Druck Sehnen 37 pCt. Wasser, gelbe Bänder der Wirbelsäule 35 pCt. Wasser, dabei werden sie durchsichtig und steif. Ein Theil des Wassers widersteht aber hohem Druck und verlangt höhere Temperaturgrade zu seiner Verflüchtigung.

Wie bei den Lösungen ein Lösungsmaximum besteht, so ergiebt sich hier ein Quellungsmaximum, ausgedrückt durch den „Quellungscoëfficienten"

$$\alpha = \frac{q}{Q} = \frac{\text{aufgenommene Wassermenge}}{\text{aufnehmende organische Substanz}},$$

der oft > 1.

Die Bestimmung dieser Grössen ist aber mit grossen Schwierigkeiten verbunden. Nach Versuchen von OESTERLEN ändert nämlich ein und derselbe Stoff in einer und derselben Flüssigkeit sein Quellungsverhältniss je nach der Temperatur und nach dem vorhergegangenen Grad der Trockniss.

Sodann ist aber auch die Natur der Flüssigkeit von grösster Bedeutung.

100 Th. trockne Ochsenblase (das heisst [hauptsächlich] glatte Muskelfasersubstanz) nehmen in 24 Stunden auf:

Wasser	268 Vol.
Fast concentrirte Kochsalz-Lösung vom spec. Gew. 1,204	133 „
Weingeist (84 proc.)	38 „
Knochenöl oder Klauenfett . .	17 „

Widersteht hohem Druck: CHEVREUIL, Ann. de Chim. et de Phys. 1821. LIEBIG's Hdwtbch. II. 920.
Oesterlen: Vgl. Anm. u. Zusätze 67.

Die Absorptionsfähigkeit für verdünnten Alkohol und Kochsalzlösung sinkt mit wachsendem Alkohol- und Kochsalzgehalt.

Ebensolche Reihen stellte Oesterlen für Knorpel, Hornhaut, Sehne, elastisches Gewebe, Faserknorpel auf.

Eingetrocknete Gelenkbänder erhalten durch die Tränkung mit Oel einen Theil ihrer Biegsamkeit wieder.

Die Flüssigkeiten mit grösserem Quellungscoëfficienten vertreiben die Flüssigkeiten mit kleinerem aus der quellbaren Substanz: So verdrängt Wasser nach Chevreuil Oel aus Sehnen und elastischem Gewebe. Oel kann daher durch mit Wasser getränkte Stoffe nicht hindurchdringen. Dazu steht in scheinbarem Widerspruch der Gebrauch, Stiefel vor dem Schmieren nass zu machen. Die Erklärung für den dabei stattfindenden Vorgang wird weiter unten gegeben werden. Eine wirkliche Ausnahme findet nach Ochlenowitz statt, wenn das Wasser Seifen oder gallensaure Salze gelöst enthält. Auch Wistinghausen gab an, „dass nach Benetzung der Capillarröhre mit gallensaurer Natronlösung das Oel fast 6 Mal höher aufsteigt, als nach Benetzung mit Wasser“.

Bei der Quellung ziehen die quellenden Gewebe die Flüssigkeit mit grosser Gewalt an. Dies zeigt sich schon darin, dass sie ausnahmslos sehr hygroskopisch sind, woraus der Analyse, namentlich wenn es sich um gepulverte Substanz handelt, nicht geringe Schwierigkeiten erwachsen. Trockne Blase entzieht nach Ludwig sogar dem Chlorcalcium und der Schwefelsäure das Wasser.

Bringt man eine quellungsfähige Substanz, etwa trockne Schweinsblase oder elastische Membran der Ochsenaorta in gesättigte Kochsalzlösung, so wird durch die Wasserentziehung das Salz ebenso zum Auskrystallisiren gebracht, wie beim Abdampfen. An einem daneben

---

Ochlenowitz: Dissert. Dorpat 1851.
Wistinghausen: Vgl. dagegen Anm. u. Zusätze 60.
Ludwig: S. Pogg. Ann. 78. 1849. S. 317.

gestellten zweiten Gefäss, das dieselbe Lösung ohne Zusatz der quellenden Stoffe enthält und in dem keine Krystallbildung stattfindet, hat man den Beweis, dass nicht etwa zufällige Temperaturänderungen betheiligt sind (die übrigens bei Kochsalzlösung keinen grossen Einfluss haben würden).

Auf der Erscheinung des Quellens und Schrumpfens beruhen eine Reihe zum Theil schon oben beim Capitel von der Hygrometrie erwähnter Apparate: de Saussure's Haarhygrometer, und das Hygrometer von Deluc, der die Veränderung eines senkrecht zur Faser geschnittenen Stückes Fischbein zur Messung der Luftfeuchtigkeit benutzte.

Sehr bekannt ist diejenige Form des Hygroskops, zu deren Herstellung die spiralig gewundene Granne des gemeinen Storchschnabels (Erodium cicutarium, Geraniaceae) benutzt wird. Man befestigt sie in der Mitte einer kreisförmigen Scala. Mit steigender Feuchtigkeit streckt sich die Spirale und die Spitze der Granne verschiebt sich auf der Scala. Bei trockner Luft rollt sie sich wieder auf und giebt einen Ausschlag in umgekehrter Richtung. Durch empirische Aichung kann man sogar das Maass für die Ausschläge bestimmen.

Als Curiosum sei eine aus Japan stammende Spielerei erwähnt, nämlich kleine Figuren, die aus stark quellenden Pflanzentheilen geschnitzt und gefärbt sind. Im trocknen Zustande erscheinen sie als unkenntliche bunte Splitterchen, wirft man sie in heisses Wasser, so entfalten sie sich in überraschender Weise zu viel grösserer und erkennbarer Gestalt, als bunte Blüthen, Fischchen und dergleichen mehr.

Noch überraschender ist vielleicht das chinesische „Wunder der Welt“, ein Taschenspielerkunststück, das darauf beruht, dass mit Hülfe von Quellung und Schrumpfung ein hölzerner Ring über einen anscheinend zu grossen

Knopf am Ende eines Stabes gestreift, oder umgekehrt davon losgemacht werden kann.

In dem oben angeführten Beispiele vom Auskrystallisiren einer gesättigten Kochsalzlösung, in die man eine Schweinsblase eingelegt hat, muss die quellende Substanz dem Kochsalz das Wasser entzogen haben. Durch diese Beobachtungen sind die Erscheinungen der Quellung in Beziehung gesetzt zu denen der Lösung, was den Unterschied zwischen ihnen und denen der blossen Tränkung vervollständigt. Die Quellung ist eben nicht blosse capillare Wirkung, sondern es findet dabei eine intimere Molekularanziehung statt, die mit der der Salze, des Alkohols und anderen in Conflict treten kann. Der Alkohol kann freilich den Geweben dennoch Wasser entziehen, sie schrumpfen zusammen und werden hart, wobei aber natürlich auch die Gerinnung des Albumins in Betracht kommt. Aus beiden Wirkungen zusammen geht die Erhärtung thierischer Organe hervor, wie man sie behufs Anfertigung mikroskopischer Schnitte vorzunehmen pflegt.

Die Volumzunahme bei der Quellung geschieht mit grosser, ja unwiderstehlicher Kraft, wovon in der Technik mannichfacher Gebrauch gemacht wird. Bekannt ist die Verwendung der Laminaria und des Pressschwamms in der Chirurgie. Um Mühlsteine zu sprengen, werden hölzerne Keile in Löcher eingetrieben und dann benetzt, sodass sie anquellen und den Stein auseinandertreiben. Um Präparate von den einzelnen Schädelknochen zu erhalten, werden Schädel auf dieselbe Weise gesprengt, indem man die Schädelhöhle mit Erbsen füllt, das Hinterhauptsloch durch einen Keil verschliesst, und alsdann den Schädel in Wasser legt. Die gleichmässig anschwellende Masse der Erbsen drückt dann die Knochen auseinander ohne sie zu beschädigen. Viele Erscheinungen aus diesem Gebiete sind aus der täglichen Erfahrung allgemein bekannt, so das „Werfen“ von Holz und Elfenbein, das Verstimmen

der Darmsaiteninstrumente und solcher Instrumente mit Stahlsaiten, deren Rahmen aus Holz bestehen. Die Schmerzen in Hühneraugen oder in alten Narben bei Witterungswechsel, die der Volksmund als „Kalender“ bezeichnet, entstehen aus derselben Ursache.

Paradox erscheint das Verhalten von Stricken und Seilen, die sich beim Befeuchten zusammenziehen. Dies erklärt sich daraus, dass sich beim Aufquellen der zusammengedrehten Fasern jeder einzelne Strang verdickt wird und das ganze Seil dadurch fester zusammengedreht wird. Neue Seile werden durch die dabei stattfindende Zerrung in ihrer Haltbarkeit geschädigt, daher die Seeleute darauf bedacht sind, die Spannung der Seile im Takelwerk bei eintretender Durchnässung nachzulassen.

Umgekehrt wird die stärkere Spannung der Taue beim Befeuchten mitunter absichtlich zu technischen Zwecken ausgenutzt. Von der Anwendung dieses Kunstgriffs unter besonders interessanten Verhältnissen wird folgende schöne Anekdote berichtet: Am 10. Sept. 1586 wurde auf dem Peters-Platz zu Rom der grosse Obelisk aufgestellt. Der Baumeister Domenico Fontana hatte ein gewaltiges Gerüst erbauen lassen, an dem die Last durch eine Unzahl von Menschen und Pferden emporgewunden werden sollte. Bei der bekannten Lebhaftigkeit italienischer Volksmengen musste man aber befürchten, dass vor dem Lärmen der Zuschauer die Befehle des Meisters von den Arbeitern missverstanden würden, und es wurde daher Todesstrafe angedroht, wenn jemand während der grossen Arbeit ein einziges lautes Wort hören liesse. Zur bestimmten Stunde war der weite Platz mit Menschen erfüllt, die unter dem harten Zwange des Verbots schwiegen, während die Arbeit nach dem vorgesetzten Plane begann. Als die Seile sich spannten, hob sich der Obelisk langsam in die schräge Lage, aber ehe die Stellung erreicht wurde, wo er von selbst in die aufrechte Lage kippen musste und nur der Hemmung durch die rückwärts ange-

brachten Taue bedurft hätte, blieb er plötzlich stecken. Die Taue hatten sich unter der Last viel mehr gedehnt, als FONTANA gerechnet hatte, und die Vorkehrungen waren nicht darauf eingerichtet, sie weiter anzuziehen. Dazu drohten sie bei länger dauerndem Zuge gänzlich zu reissen. In diesem Augenblicke rathloser Verlegenheit des Baumeisters hörte man plötzlich eine Stimme laut über den Platz rufen: Acqua alle funi! Wasser auf die Seile! FONTANA verstand den Wink, seine Leute waren sogleich mit Eimern zur Stelle, begossen die Seile, und alsbald begann sich der Obelisk von neuem zu heben, bis er in der aufrechten Lage stand, wie er heute noch steht. Der Papst liess den Mann, der den guten Rath gegeben hatte, vor sich bringen, und statt der angedrohten Strafe durfte er sich eine Gnade ausbitten. Es war ein Seemann Namens BRESCA aus Bordighera, und die Gnade, die er sich ausbat, war die, dass er und seine Nachkommen die alleinige Lieferung der Palmen für das Palmsonntagsfest im Vatican haben sollten. Die Bitte scheint gering, aber die Lieferung ist ein ausserordentlich lohnendes Geschäft, denn „im Vatican bedient man sich Palmsonntags echter Palmen“.

Auf dieselbe Art wie in den gequollenen Substanzen ist in normalen thierischen und pflanzlichen Geweben Wasser enthalten. Der Wassergehalt der Gewebe kann sich daher ändern, wie dies von MOHL für gewisse Pflanzenstoffe genauer untersucht worden ist. Bei der Benetzung von Pflanzentheilen findet eine messbare Volumzunahme durch Aufquellen statt, und zwar ist die Ausdehnung allseitig, aber nicht gleichmässig, sondern abhängig von der Structur des Gewebes. Dicotyle Holzarten quellen, in der Richtung der Fasern gemessen, nur um 0,07 bis 0,4 pCt. der Länge, in der Richtung quer auf die Fasern dagegen um 4—9 pCt. der anfänglichen Breite. SCHLEIDEN fand die Ausdehnung der Bastzellen des Flachses zu

---

Palmsonntagsfest: Vgl. Anm. u. Zusätze 68.

0.0005—0,0006, E. Meyer die des Manillahanfs zu $^1/_{50}$ der Länge und $^1/_5$ der Dicke der Fasern.

Die in dem frischen Holze vorhandene Flüssigkeit giebt zu eigenthümlichen Erscheinungen Anlass, die man mitunter bei Blitzschlägen, und auch bei Wirbelstürmen an den betroffenen Baumstämmen beobachten kann. Bei

Fig. 15.



Vom Sturm zersplitterte Buche.
Photographie nach einer Handzeichnung von Prof. Gad.

der plötzlichen Erwärmung durch den Blitzschlag wird das Wasser im Innern des Stammes dampfförmig, und es entsteht eine Art Explosion, die die Rinde auseinanderspaltet und die Splitter weit wegschleudert. Ebenso soll bei Wirbelstürmen durch die Luftverdünnung, die im Centrum der Trombe entsteht, das im Holze enthaltene

Wasser plötzlich verdampfen, und indem es zu entweichen strebt, den Stamm in dünne Splitter zerschlitzen. Eine Beobachtung dieser Art, die auf andere Weise schwer zu erklären wäre, hat GAD beschrieben.

Das Wasser in den Geweben bestimmt aber nicht bloss ihr Volum, sondern eine grosse Zahl ihrer physikalischen Eigenschaften überhaupt, wie Gestalt, Farbe, Durchsichtigkeit. Man denke an die eingetrockneten Knorpel eines präparirten Skelets im Gegensatz zu frischen. Ebenso gross sind die Veränderungen an getrockneten Pflanzen, wovon Thee, Heu, Torf Beispiele bilden. Derartige Stoffe werden besonders deshalb getrocknet hergestellt, weil sie in diesem Zustande der Fäulniss nicht ausgesetzt sind. Man bedient sich heutzutage in immer grösserem Maassstabe dieses Verfahrens, um aufbewahrungsfähige Nahrungsmittel herzustellen. Von getrocknetem und gepresstem Gemüse wurde auf der Expedition zur Aufsuchung FRANKLIN's zuerst mit grossem Vortheil Gebrauch gemacht.

Mit Wasser gequollen erlangen die getrockneten Substanzen bis zu einem gewissen Grade ihre ursprünglichen Eigenschaften wieder, wovon mancherlei merkwürdige Beispiele in der Natur vorkommen.

Hierauf allein beruht nämlich das sogenannte Wiederaufblühen der „Rose von Jericho“, wovon sehr übertriebene Fabeln berichtet worden sind. Die Rose von Jericho (Anastatica hierochantica, Crucifere) ist ein unscheinbares krautiges Gewächs, dessen holzige Aestchen sich schirmartig von der Wurzel nach allen Seiten vertheilen. Die Blüthen sind ganz klein und sitzen in grosser Zahl unmittelbar an den Aesten und Aestchen. Im Zustande der Trockniss nun rollen sich sämmtliche Aeste gegen ihre Ursprungsstelle zusammen, sodass aus der Form des ausgebreiteten Schirms ein rundlicher Knäuel entsteht. Wenn die Wurzel dann im trocknen Boden den Halt verliert,

---

Rose von Jericho: Vgl. Anm. u. Zusätze 69.

werden diese zusammengeknäuelten Pflanzen vom Winde frei umhergerollt. Sobald sie aber durch Regen befeuchtet werden, breiten sich die Stengel wieder aus, und die Pflanze kann dann von neuem Wurzel fassen, blühen und gedeihen. Bei abwechselnder Feuchtigkeit und Trockniss kann das Spiel beliebig oft wiederholt werden. Jahrelang aufbewahrte Exemplare zeigen die Erscheinung in unverändertem Maasse.

Aehnlich verhalten sich die Fruchtkapseln des südafrikanischen Mesembryanthemum, die man als Schmuckstücke fasst, und die sich bei Benetzung sternförmig entfalten.

Auch an Sellaginella und Lycopodium lepidophyllum lässt sich Aehnliches beobachten.

In noch viel höherem Grade als bei den Pflanzen sind bei den Thieren die Eigenschaften der Gewebe von ihrem Wassergehalt abhängig. Alle Theile des thierischen Organismus sind mit Wasser getränkt, und zwar enthalten sie um so mehr Wasser, je lebhafter ihr Stoffwechsel ist. Der Gesammtgehalt an Wasser beträgt nach E. Bischoff für den

ausgewachsenen (männlichen) Körper	58,5 pCt.
neugeborenen (weiblichen) Körper .	66,4 „
Frosch (nach Valentin) sogar . .	82 „

Nach Ernst Heinrich Weber ist der Wassergehalt für die verschiedenen Gewebsarten:

Für Drüsen	78—72 pCt.
„ Gehirn	75—80 „
„ Muskeln	77 „
„ Knorpel	69—57 „
„ elastisches Gewebe .	64 „
„ Sehnen	62 „
„ Krystalllinse . . .	58 „

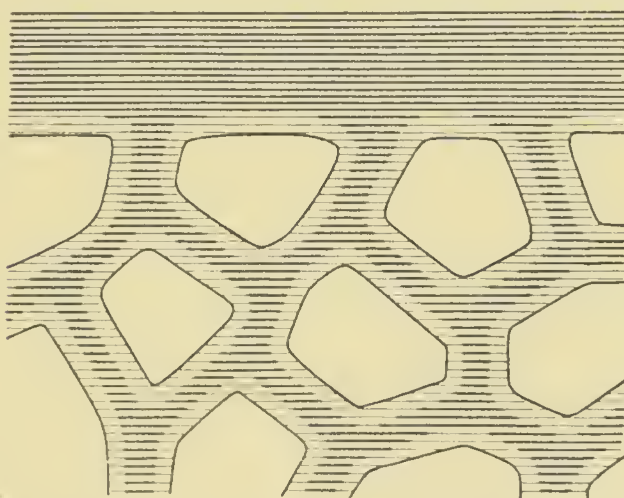
Mesembryanthemum: * Ehrenberg. *
E. Bischoff: Henle u. Pfeuffer, Zeitschr. f. rat. Med. (3.) 20. 1863. S. 117.

Für Knochen . . . . . 14 pCt.
„ Zahnbein (Dentin) . . 10 „

Allein nicht bloss Gewebe nehmen, indem sie sich wieder tränken, ihre Beschaffenheit wieder an, sondern es können eingetrocknete Samen keimen, ja eingetrocknete Thiere sich wieder beleben. Dies ist an Räderthierchen schon von LEUWENHOEK, später von SPALLANZANI, FONTANA und EHRENBERG beobachtet worden. STEINBACH und BAUER sahen die Vibrionen kranker Weizensamen wieder aufleben, als die Samen nach Jahren wieder befeuchtet wurden. JOHANNES MÜLLER erwähnt den Fall, dass eine Zwiebel aus der Hand einer 2000 Jahre alten ägyptischen Mumie noch keimungsfähig gefunden wurde.

Die Lösungen befolgen bei ihrem Eindringen in die quellbaren Substanzen gewisse sehr wichtige Gesetze, die LUDWIG aufgedeckt hat, nachdem sie von BRÜCKE auf

Fig. 16.



Verhalten von Lösungen in Capillaraggregaten.
Die dunkle Lösung dringt zwischen helle Massentheilchen ein, deren jedes von einer mit dünneren Strichen schraffirten Schicht verdünnter Lösung (oder reinen Wassers) umgeben ist.

Zahnbein: NEUMEISTER, Physiol. Chemie. Jena 1897. S. 459.
Ludwig: in Pogg. Ann. 78. 1849. S. 316.

später zu verfolgendem Wege theoretisch erschlossen worden waren.

Sie theilen sich nämlich im Innern des Gewebes in zwei Portionen, eine verdünntere (vielleicht reines Wasser) und eine concentrirtere, jene in unmittelbarer Berührung mit der Substanz des Gewebes, diese in der Mitte der Poren und Canäle sich haltend. Dies folgt aus drei Thatsachen:

1. Die lufttrocknen Gewebe nehmen aus einer Salzlösung von bestimmtem Procentgehalt eine minder concentrirte Lösung auf, die Lösung wird concentrirter. Ist sie gesättigt, so findet Ausscheidung von Krystallen statt. Dies lässt sich folgendermaassen durch directe Wägungen beweisen:

Es wiege die

trockne Membran	a	Gramm
imbibirte	b	"
nach der Quellung getrocknete	c	"

so ist der Procentgehalt der aufgenommenen Flüssigkeit:

$$(b-a)\, x = (c-a)\, 100$$

$$x = \frac{(c-a)\, 100}{b-a}$$

$$x = \frac{100\, (c-a)}{b-a}.$$

Wenn nun der Procentgehalt der umspülenden Lösung bekannt ist, wird man unmittelbar sehen, dass die aufgenommene Lösung weniger concentrirt ist.

Nach Cloetta ist übrigens bei Kochsalz das Verhältniss der Procentgehalte der aufgenommenen und der umspülenden Flüssigkeit ein constantes, unabhängig vom Procentgehalt der letzteren, bei Glaubersalz aber vom letzteren in der Art abhängig, dass aus der minder gesättigten Lösung eine gesättigtere aufgenommen wird.

Krystallen: Siehe S. 67.
Cloetta: Diffusionsversuche etc. Zürich 1851.

II. Presst man eine gequollene Membran aus (in einer stählernen Handpresse), so ist die zurückbleibende Flüssigkeit von geringerem Procentgehalt als die ausgepresste, und diese von gleichem mit der umspülenden.

Hieraus folgt also, dass die Membran die Flüssigkeit, die sie aufnimmt, in zwei Theile trennt, die Salzlösung durch ihre Anziehungskraft heterogen macht (aber umgekehrt wie der Schwerspath in MITSCHERLICH'S Versuch durch seine Wirkung auf den gelösten Salpeter) und somit folgt die Anordnung in eine Wandschicht, die verdünnter ist, und in eine gesättigtere Mittelschicht.

III. Wenn man gesättigte Lösung unter Druck durch eine Membran hindurchtreibt, fliesst die Lösung in gesättigtem Zustande ab, obschon die Blase nur verdünnte Lösung aufnimmt (wie unter I. angegeben). Presst man 20 proc. Lösung durch eine Membran, die daraus nur 17 proc. aufnimmt, so erhält man als Filtrat gleichwohl 20 proc. Lösung. Es folgt hieraus, dass die in der Blase imbibirte Lösung und die hindurchtretende Lösung verschiedenen Procentgehalt haben, mithin, dass die Lösung im Innern der Blase heterogen ist.

BRÜCKE begründete mit diesen Thatsachen seine Theorie der Endosmose, die weiter unten zu besprechen sein wird.

Von der Transfusion.

Der letzte Versuch führt hinüber zu einem kleinen, ausserordentlich schwierigen Gebiete der allgemeinen Physik, das die Frage behandelt: Wie verhalten sich tropfbar flüssige Körper, wenn sie unter Druck durch enge Räume hindurchgetrieben werden?

Mitscherlich's Versuch: Vgl. S. 44.

Der einfachste Fall dieser Art besteht darin, dass die Flüssigkeit eine Capillare unter gleichbleibenden Bedingungen durchströmt. Die Strömungsgeschwindigkeit wird gemessen durch die ausfliessende Menge, wobei man, um die oben unter Effusion erwähnten störenden Einflüsse der Röhrenöffnung auszuschalten, die Flüssigkeit nicht frei, sondern in ein bis über die Röhrenöffnung gefülltes Gefäss ausströmen lässt. POISSEUILLE fand für Capillaren im Allgemeinen, dass die in gegebener Zeit ausströmenden Mengen, mithin die Strömungsgeschwindigkeiten, dem Drucke und der vierten Potenz des Durchmessers proportional, der Röhrenlänge umgekehrt proportional waren. Dem entspricht die Formel:

$$q = \frac{k.\ h.\ d^4.\ f(t)}{e}$$

wo q die ausgeflossene Menge,
k. h. das Product aus spec. Gew. und Druckhöhe,
d der Durchmesser } der Röhre,
e die Länge } der Röhre,
t die Temperatur.

Die Strömungsgeschwindigkeit ist nämlich sehr stark von der Temperatur abhängig. Bei Erhöhung der Temperatur von 0° auf 60° sah GIRARD die Menge ausfliessenden Wassers auf mehr als das Dreifache steigen.

Bei sehr engen Capillaren darf die Geschwindigkeit einfach als proportional dem Druck und dem Querschnitt. und umgekehrt proportional der Länge der Röhre angesehen werden.

Ebenso wie einzelne Capillarröhren, verhalten sich Capillaraggregate. Schon bei verhältnissmässig geringem Druck treten Flüssigkeiten durch die feinsten Poren. Dies wird durch einen alten, sehr schönen Vorlesungsversuch,

---

Effusion: Siehe S. 13.
Poisseuille: Pogg. Ann. 58. 1843. S. 424.

den sogenannten Quecksilberregen, veranschaulicht. Auf den Teller der Luftpumpe wird ein an beiden Enden offener Glascylinder luftdicht aufgesetzt, und am oberen Ende durch eine oben wannenförmig ausgehöhlte Buchsbaumplatte verschlossen. Wird nun auf die Platte (die quer zur Holzfaser geschnitten sein muss) Quecksilber gegossen, und die Luft in dem Cylinder durch Auspumpen verdünnt, so beginnt alsbald das Quecksilber unter dem Drucke der äusseren Luft durch das Holz hindurch in den Innenraum des Cylinders zu strömen, wo es als ein Regen von feinsten Quecksilbertröpfchen sichtbar wird.

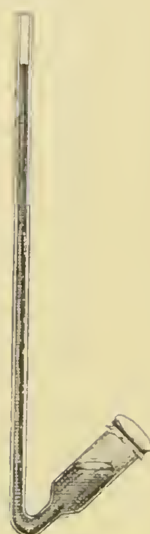
Für verschiedene Flüssigkeiten ist die unter gleichen Bedingungen durchfliessende Menge verschieden, was auf den Einfluss der inneren Reibung der Flüssigkeitstheilchen unter einander zurückzuführen ist. Flüssigkeiten, deren innere Reibung gross ist, sind „zähflüssig", und ergeben bei der Transfusion geringe Ausflussmengen. Ehe man daher die in Versuchen mit Wasser gefundenen Ergebnisse auf die Säfte der Organismen, insbesondere auf die Strömung des Blutes in den Capillargefässen anwenden kann, muss erst das Verhältniss der inneren Reibung der betreffenden Flüssigkeit zu der des Wassers bestimmt werden.

Auch die innere Reibung der Flüssigkeiten ist von der Temperatur abhängig, und zwar nimmt sie mit steigender Temperatur schnell ab.

Aehnlich verhält sich eine Flüssigkeit, die unter Druck durch eine poröse Membran filtrirt. Liebig untersuchte diesen Vorgang an einem winklig gebogenen Rohre, dessen einer erweiterter Schenkel mit verschiedenen Membranen zugebunden wurde, während der andere aufrechte Schenkel als Steigrohr die Druckhöhe angab, die nöthig war, um die Flüssigkeit hindurchzutreiben. Die Röhre wird zunächst bei horizontaler Lage mit der gefärbten

Liebig: Vgl. Anm. u. Zusätze 70.

Fig. 17.



Liebig's Filtrationsversuch.

Flüssigkeit gefüllt, und dann zum Zwecke des Versuchs in die senkrechte Lage gebracht. Es ergab sich Folgendes:

Es transfundirte durch Ochsenblase von 0,2 mm Dicke

Wasser	bei	30 cm	Quecksilberdruck
Gesättigte Kochsalz-Lösung	„	50 „	„
Knochenöl	„	90 „	„
Alkohol noch nicht . . .	„	125 „	„

Aus dem Vergleich der Zahlen für Oel und für Alkohol geht hervor, dass im Gegensatz zur Transfusion durch Capillaren die Filtrirbarkeit nicht von der Beweglichkeit der Theilchen der Flüssigkeit gegeneinander, sondern vielmehr von der Beschaffenheit der Membran und der Flüssigkeit selbst abhängt.

Ferner fand sich, dass durch Peritonealüberzug von Ochsenleber von 0,1 mm Dicke transfundirte:

Wasser .	bei	20—25 cm	Quecksilberdruck
Salzwasser	„	30—40 „	„
Oel . . .	„	55—65 „	„
Alkohol .	„	95—105 „	„

Ebenso durch Peritoneum von Kalbsleber von 0,01 mm Dicke:

Wasser .	bei	0,73	cm Quecksilberdruck
Salzlösung	„	1,75—2,0	„ „
Oel . .	„	8	„ „

Bei fortdauerndem Filtriren wird der erforderliche Druck um so kleiner, je länger die Durchströmung der Membran schon gewirkt hat.

So gelangen wir zu der allgemeinen Vorstellung, dass, sobald der Druck auf beiden Seiten einer Membran nicht gleich ist, die Flüssigkeit nach der Seite hindurchtritt, wo der Druck kleiner ist, und zwar in um so grösserer Menge, je grösser und je dünner die Membran. Ferner hängt die durchtretende Menge ab von den substantiellen Eigenthümlichkeiten der Flüssigkeit und der Membran: Je concentrirter eine Lösung, desto schwerer filtrirt sie. Besonders schwer filtriren unechte Lösungen.

Die Durchströmung von Capillaraggregaten unter Druck spielt eine Rolle in der Technik beim Imprägniren von Holz und Seilen (Timber and cordage) mit fäulnisswidrigen Substanzen. Das sogenannte Cyanisiren (von Dr. Kyan angegeben) besteht im Tränken des Holzes mit Sublimat- oder Kupfervitriollösung. Um die Salzlösungen eindringen zu machen, wird zuerst an einem Ende des Balkens mittelst Alkoholdampf ein Vacuum erzeugt und dann vom anderen Ende aus die Lösung heiss eingetrieben. Ob das Kupfervitriol gut eingedrungen, ist mit Ferrocyankalium nachzuweisen, es bildet sich K_2SO_4 und ein rothbrauner Niederschlag von Ferrocyankupfer.

Die Filtration unter Druck erfolgt leichter ins Wasser als in Luft, weil sie hier noch die Capillarität zu überwinden hat. Es ist dann mitunter sehr starker Druck erforderlich, damit überhaupt Flüssigkeit ausgetrieben werde. Dies ist bei der Feinheit der Poren leicht verständlich. Wenn in einem 1 mm im Durchmesser haltenden Rohre

---

Cyanisiren: Vgl. Anm. u. Zusätze 71.
Leichter ins Wasser: Vgl. Anm. u. Zusätze 72.

Wasser 60 mm hoch hängen bleibt, bleibt es in einem 0,01 mm haltenden 6000 mm, in einem nur 0,001 mm weiten 60000 mm = 60 m hoch hängen, das heisst es leistet einem Drucke von 6 Atmosphären Widerstand, ohne auszutreten. Dieser Unterschied zwischen der Filtration in Luft und in eine Flüssigkeitsmenge lässt sich besonders deutlich am Quecksilber zeigen. Trotz ihrer Schwere können nämlich Quecksilbertropfen vermöge ihrer durch die Oberflächenspannung erzeugten Kugelform auf einem Florgewebe umherrollen, ohne durchzufliessen. Es ist aber unmöglich, aus einer grösseren Menge reinen Quecksilbers auch nur den kleinsten Tropfen auf dem Flor herauszuheben, denn sobald sich an beiden Seiten des Flors Quecksilber befindet, sodass es nicht zur Tropfenbildung kommt, fliesst das Quecksilber frei durch die Lücken ab. Nach demselben Principe könnte das Abwischen des Schweisses dadurch die Absonderung selbst vermindern, dass es den Austritt neuen Schweisses aus den Porengängen erschwerte, und dadurch höheren Secretionsdruck erforderlich machte.

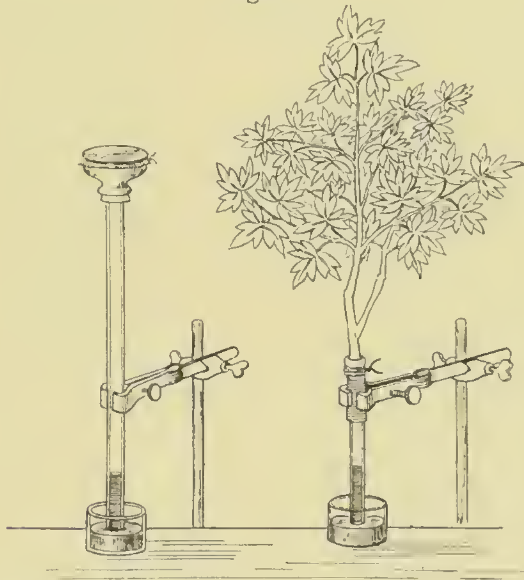
Transfusion unter dem Einflusse der Verdunstung.

Eine dauernde Strömung innerhalb eines Capillaraggregates kann dadurch hervorgerufen werden, dass die Flüssigkeit von einer Seite abdunstet, während von der anderen Seite neue Flüssigkeitsmengen angesogen werden. Dies ist in folgendem Versuch von Magnus verwirklicht: Ein Steigrohr mit sehr weiter oberer Mündung wird mit Wasser gefüllt und oben mit Blase überbunden. Unten taucht es in ein Gefäss mit Quecksilber. In dem Maasse, wie die Feuchtigkeit von der äusseren Fläche der Blase verdunstet, saugt die Blase das Wasser aus dem Gefässe an, und zwar mit so grosser Kraft, dass, nachdem die Blase sich nach unten gewölbt hat, das Quecksilber bis zu beträchtlicher Höhe in das Steigrohr hinaufgezogen wird.

Auf dieselbe Weise befördert die Verdunstung von

den Blättern das Aufsteigen der Säfte in den Pflanzen. Ein englischer Geistlicher, Stephen Hales, der am Anfang des 18. Jahrhunderts lebte und sich mit wissenschaftlichen Untersuchungen beschäftigte, derselbe, der zuerst den Blutdruck am lebenden Pferde maass, hat hierüber einen Versuch an Zweigen vom Apfelbaum gemacht, der auch an frischen Zweigen des Schwarzahorns, Acer negundo, sehr schön gelingt. Die Blätter entsprechen der Blase im Magnus'schen Versuch, der Stiel des Zweiges

Fig. 18.



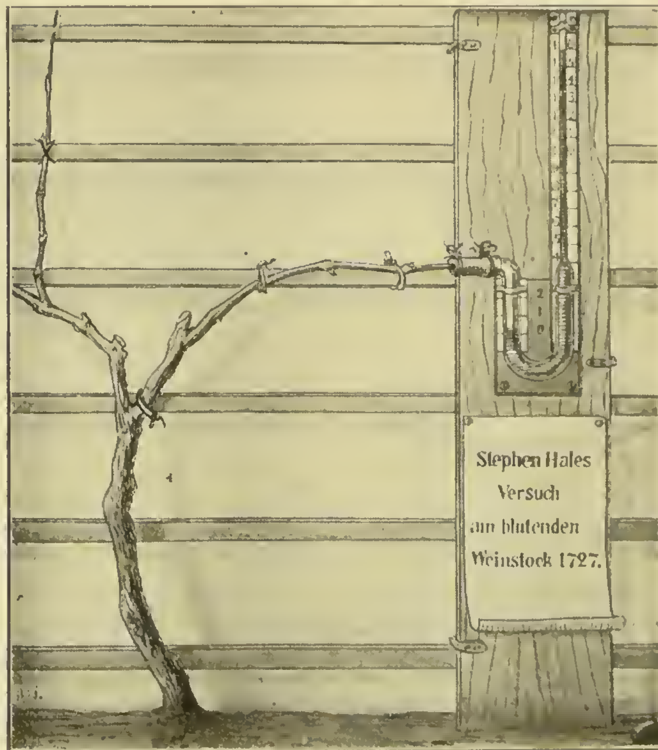
Versuch von Magnus. Versuch von Hales.

dem Steigrohr. Bei der sehr grossen Oberfläche, die die Blätter der Luft darbieten, ist die Verdunstung und somit die Saugwirkung bei diesem Versuche sogar viel stärker als bei dem vorigen. Die Verdunstung des Wassers von der Oberfläche der Pflanzen ist so lebhaft, dass sich ein deutlicher Einfluss der Bewaldung auf die Regenmenge eines Landstrichs erkennen lässt. Ueber bewaldeten Gegenden ist die relative Luftfeuchtigkeit infolge der Verdunstung höher, die Regenmenge grösser als über freien

Hales: Vegetable Staticks 1727.

Flächen. Die solchergestalt verdunstende Wassermenge muss durch Zufluss vom Stamme her dauernd ersetzt werden. Um dies zu zeigen, wird über das abgeschnittene Ende des Zweiges ein Gummischlauch gezogen, und in diesen ein Steigrohr eingebunden, das mit Wasser gefüllt ist, und in Quecksilber taucht. Schon in einer Stunde ist das Quecksilber um einige Centimeter gestiegen, in

Fig. 19.



Stephen Hales' Versuch am blutenden Weinstock.
Photographie nach dem Wandbild von Dworzazeck.

18 Stunden um 13 cm. Dies ist aber durchaus nicht die einzige Ursache, die für die Bewegung der Pflanzensäfte in Betracht kommt. Im Gegentheil tritt der stärkste Saftstrom gerade im Frühjahr auf, ehe noch die Blätter entwickelt sind. Bekanntlich „bluten“ ja die beschnittenen Weinreben zur Zeit, wenn eben erst die Knospen schwellen. Ueberdies hat Hales, indem er an den „blutenden“ Quer-

schnitt einer Rebe ein Manometer ansetzte, gefunden, dass der Saft mit mehr als einer Atmosphäre Ueberdruck hervorquillt. Ein so hoher, über die Querschnittsfläche des Stammes hinaus wirkender Druck ist durch die bisher betrachteten Erscheinungen überhaupt nicht zu erklären. Der Druck entsteht übrigens, wie schon HALES weiter nachwies, schon in den Wurzelfäden, da, wo auch immer oberhalb der Wurzel ein Querschnitt angelegt wird, der Saft auf dieselbe Weise hervorquillt.

Nach neueren Untersuchungen ist weder der Wurzeldruck, noch die Saugkraft der Krone hinreichend, um die Bewegung des Saftes in der ganzen Länge eines hochgewachsenen Stammes zu verursachen. Durch die Beobachtung, dass die Saftgefässe nicht reine Flüssigkeit, sondern eine sogenannte JAMIN'sche Kette von einzelnen durch Luftblasen getrennten Tropfen enthalten, wird zwar der Werth, den man für das Gewicht der gehobenen Flüssigkeit anzuschlagen hat, herabgesetzt, es tritt aber dafür eine neue Schwierigkeit ein. Der Meniscus an der Grenze eines jeden Tropfens und der dazugehörigen Blase setzt der Bewegung einen Widerstand entgegen, sodass bei der grossen Zahl übereinander gereihter Glieder der JAMINschen Kette ein sehr erheblicher Gesammtwiderstand in Rechnung gebracht werden muss. Schon aus diesen Gründen muss man also eine noch unerklärte fördernde Einwirkung der gesammten Länge des Pflanzenkörpers auf den Saftstrom annehmen. Ueberdies ist die Strömung nicht immer an allen Stellen gleich: Bringt man vermittelst eines hohlen Bohrers ein Manometer mit dem Innern eines lebenden Baumstammes in Verbindung, so beobachtet man nicht selten, dass an einer Stelle eines Stammes der Saft unter Druck aufsteigt, während an einer benachbarten Stelle das Manometer eine Saugwirkung der Saftgefässe anzeigt.

Jamin'sche Kette: Vgl. SCHWENDENER, Untersuchungen über den Saftstrom. Sitzungsber. d. Acad. d. Wissensch. Sitzg. v. 8. VII. 86.

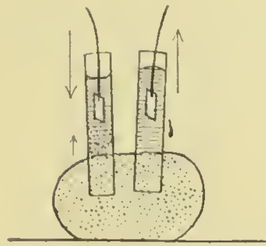
Die Saugkraft der abdunstenden Oberfläche eines getränkten Capillaraggregats wird zu gewissen technischen Verrichtungen mit Vortheil dienstbar gemacht. So besteht ein Mittel, Bretter gründlich mit Oel zu durchtränken, darin, dass man sie erst Wasser aufsaugen lässt und alsdann das Oel von der einen Seite her aufträgt. In dem Maasse, als das Wasser von der freien Oberfläche verdunstet, muss das in den tieferen Schichten enthaltene Wasser in den Poren emporzusteigen streben, und dadurch das Oel nachsaugen. Sofern das Nassmachen der Stiefel vor dem Schmieren nicht nur dazu dient das Leder geschmeidiger zu machen, damit das Oel besser hineingerieben werden kann, handelt es sich offenbar dabei um einen ganz analogen Fall. Wenn von aussen das Schmierfett aufgetragen worden ist, muss das Wasser nach innen abdunsten und das Fett nachsaugen.

Von der Elektrotransfusion (Kataphorese).

Endlich kann noch auf eine besondere Weise Flüssigkeit dazu gebracht werden, die Hohlräume eines Capillaraggregats zu durchströmen, nämlich durch den Einfluss der Elektricität. Die erste Beobachtung auf diesem Gebiete machte schon im Jahre 1809 Reuss in Moskau. In In den Stromkreis einer starken Kette schaltete er zwei Glasröhren ein, die in einen Klumpen plastischen Thones gesteckt und mit Wasser erfüllt waren. Wurde der Strom geschlossen, so sank das Wasser in der einen Röhre, während das in der anderen stieg. Es fand also eine Fortleitung des Wassers durch den Thon, und zwar im Sinne des elektrischen Stromes statt. Gleichzeitig bemerkte

Reuss: Vgl. Wiedemann, Elektricität. 2. Aufl. Braunschweig 1893. § 1185. S. 993 u. ff. Mem. de la Soc. imp. des Naturalistes à Moscou. 2. 1809. S. 327.

Fig. 20.

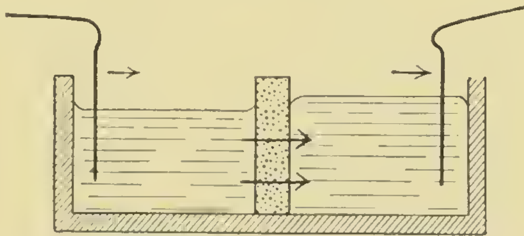


Versuch von Reuss.

Reuss, dass der Thon der Stromrichtung entgegen bewegt wurde, sodass das Wasser in der einen Glasröhre getrübt wurde.

Wenige Jahre später fand Porret dieselbe Thatsache, indem er folgenden Versuch anstellte: In ein trogförmiges Gefäss wird in der Mitte eine poröse Scheidewand eingekittet, und beide Hälften des Gefässes werden mit leitender Flüssigkeit gefüllt. Wird nun je eine Elektrode einer

Fig. 21.



Porret's Versuch.

galvanischen Kette in jede der beiden Abtheilungen eingelegt, sodass der galvanische Strom die Flüssigkeit in der porösen Membran durchsetzt, so nimmt die Flüssigkeitsmenge an der Seite der zuleitenden Elektrode ab, an der Seite der ableitenden Elektrode zu, das heisst, die Flüssigkeit bewegt sich in der Richtung des Stromes durch die poröse Scheidewand hindurch.

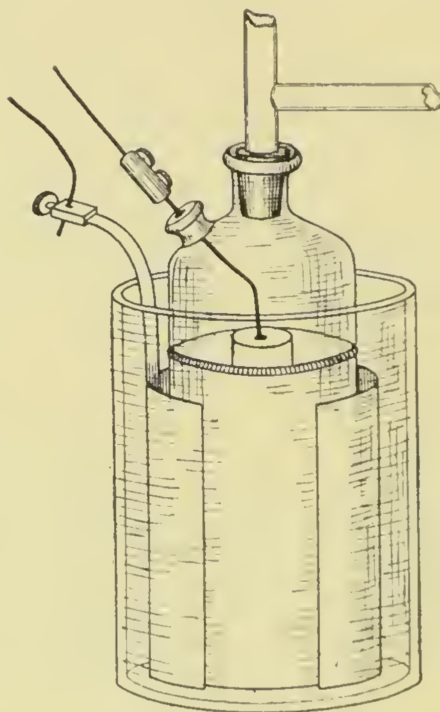
Porret bezeichnete den Vorgang als „elektrische En-

Porret: Pogg. Ann. 12. 1816. S. 618.

dosmose", wofür öfter der kürzere Ausdruck Elektrodiffusion gebraucht wird. Offenbar ist es richtiger, von Elektrotransfusion zu sprechen, oder sich der Bezeichnung „Kataphorese" zu bedienen, durch die zugleich angedeuet wird, dass es sich um eine Bewegung im Sinne des elektrischen Stromes handelt.

Diese Versuche waren schon fünfzig Jahre lang bekannt, als sie von Wiedemann und von Quincke zum Gegenstand

Fig. 22.



Wiedemann's Apparat zur Kataphorese.

genauerer Forschung gemacht wurden. Wiedemann bestätigte, wie auch schon Becquerel, die Beobachtung von Reuss. Sodann gab er dem Porret'schen Apparat eine für exacte Versuche geeignetere Form, die an die eines gewöhnlichen galvanischen Elementes erinnert. An Stelle der porösen Scheidewand, die ein Gefäss quer durchtheilt, setzte er eine cylindrische Thonzelle, die mit der Flüssig-

Becquerel: Traité d'électr. 3. S. 102. 1835.
Apparat: Pogg. Ann. 87. 1852. S. 321.

keit gefüllt in einem gleichfalls gefüllten Becher steht. Am oberen Ende ist die Thonzelle durch eine aufgekittete Glasglocke geschlossen, die in ein Steigrohr ausläuft. Der Strom wird der äusseren Flüssigkeit durch eine, dem Kupferblech der gewöhnlichen Elemente ähnliche Elektrode zugeleitet, die ableitende Elektrode befindet sich im Innern der Thonzelle, der dazu gehörige Leitungsdraht ist durch eine Oeffnung in der Glasglocke geführt und darin eingeschmolzen. Wenn nun ein Strom durch den Apparat geleitet wird, so steigt die Flüssigkeit im Innern der Thonzelle, und man kann nach Belieben die Menge der ausfliessenden Flüssigkeit, oder, indem man ein Manometer mit dem Steigrohr verbindet, den entstehenden Druck feststellen.

Es ergab sich, dass die Menge der übergeführten Flüssigkeit der Stromstärke proportional, von der Grösse der porösen Fläche und von der Wanddicke dagegen unabhängig ist.

Die Druckhöhe, bei der die Strömung der Flüssigkeit aufhört, ist dagegen der Stromstärke und der Wanddicke proportional, dem Querschnitt umgekehrt proportional. Für beide Werthe ist ausserdem die specifische Eigenschaft der porösen Wandung maassgebend.

Bei verschiedenen Flüssigkeiten verhalten sich die Druckhöhen wie die Leitungswiderstände.

Eine Batterie von 10 kleinen GROVE'schen Elementen treibt bei dieser Anordnung die Flüssigkeit in solcher Menge empor, dass sich der Versuch sehr gut zur Demonstration der Elektrotransfusion in der Vorlesung eignet.

Obschon es WIEDEMANN auf diese Weise gelungen war, die Gesetze der Elektrotransfusion festzustellen, konnte er ihre Ursache nicht ergründen. Dazu war noch ein glücklicher Zufall nothwendig, der sich in Breslau ereignete, indem JÜRGENSEN die Wirkung des elektrischen

---

Jürgensen: Vgl. Anm. u. Zusätze 73.

Stroms auf thierische Gebilde beobachtete, und fand, dass jedesmal wenn der Strom geschlossen wurde, sich Theilchen der beobachteten Substanz in einer gewissen Richtung bewegten, und sich zurückbewegten, wenn der Strom geöffnet wurde. Am besten ist dies an den Stärkekörnchen im Gewebe der Kartoffel zu beobachten, die man mit dem Strome von der einen Seite der Zellen nach der anderen hinüberwandern sieht. Die Körnchen bewegen sich gewöhnlich im entgegengesetzten Sinne wie der Strom, also so zu sagen mit dem negativen Strome, und man kann daraus schliessen, dass nicht allein die Flüssigkeit die Tendenz hat, durch die poröse Substanz hindurch zu dringen, sondern dass auch diese Substanz die umgekehrte Tendenz zeigt, von der negativen zur positiven Elektrode, dem Strom entgegen, zu wandern (anaphorische Wirkung). Der Versuch gelingt nur mit schlecht leitenden Flüssigkeiten, zum Beispiel in destillirtem Wasser, das durch Spuren von Kochsalz nur eben leitend gemacht ist, oder mit wasserhaltigem Alkohol. Quincke hat sich mit den Vorgängen bei diesen sogenannten „Diaphragmaströmen“ eingehend beschäftigt, und ihre Erklärung in folgenden Umständen gefunden: In einem gleichförmigen Leiter, in dem der elektrische Strom kreist, ist die Elektricität in der Weise abgestuft, dass sie die Oberfläche des Leiters in einer linearen Vertheilung deckt: Das elektrische Gefälle ist eine lineare Function. Infolge dieses Gefälles wird ein positiv elektrischer Körper die Tendenz haben, sich in der Richtung des positiven Stromes zu bewegen. Umgekehrt wird ein negativ elektrischer Körper sich in der umgekehrten Richtung bewegen. Es ist nun aus anderen Beobachtungen mit einem gewissen Grade von Wahrscheinlichkeit zu schliessen, dass die meisten Substanzen in Berührung mit schlecht leitenden Flüssigkeiten negative Elektricität annehmen. In gut leitender Flüssigkeit können

---

Diaphragmaströme: Quincke, Pogg. Ann. 113.

sich die Elektricitäten ausgleichen, ehe eine mechanische Wirkung zu Stande kommt. Da die Flüssigkeitstheilchen am positiven Pole des Leiters durch den Strom positiv werden, so erklärt sich aus dieser Betrachtung zugleich die Strömung der Flüssigkeit und die Gegenbewegung der suspendirten Körperchen. Uebrigens gelang es QUINCKE, die Fortbewegung der Flüssigkeit auch in einer einfachen Capillarröhre nachzuweisen. Die Erscheinung wird dadurch complicirt, dass die Flüssigkeit nur an der Oberfläche, also an der Wandung in Bewegung gesetzt wird, sodass in der Mitte auch eine Gegenströmung der Flüssigkeit entsteht. Da der ganze Vorgang von der Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche des Leiters abhängt, ist es klar, dass die Erscheinung nur da auftreten kann, wo die Oberfläche im Verhältniss zur Masse des Leiters sehr bedeutend ist, das heisst also, wo die Masse des Leiters fein vertheilt ist, wie dies mit einer Flüssigkeit in einer porösen Substanz der Fall ist.

Die Bewegungen von Flüssigkeiten im Thierkörper, bei denen elektrische Erscheinungen beobachtet werden, sind vielleicht durch Kataphorese zu erklären. ENGELMANN hat gefunden, dass die Intensität der Absonderungsthätigkeit der Hautdrüsen des Frosches mit deren elektromotorischer Wirksamkeit in gleichem Maasse zunimmt und abnimmt. Dies beweist einen engen Zusammenhang zwischen beiden Vorgängen, auf den, wie ENGELMANN weiter ausgeführt hat, eine elektromechanische Theorie der Drüsenthätigkeit gegründet werden kann.

Engelmann: Die Hautdrüsen des Frosches. PFLÜGER's Archiv. 5. u. 6. 1872.

Osmose.

Die Hydrodiffusion durch thierische Scheidewände ist ein höchst verwickelter Vorgang, wie sich sogleich zeigen wird. Aber wie es oft geschieht, ist gerade dieser Fall der zuerst beobachtete gewesen, weil sich dabei ein besonderer Umstand zu erkennen giebt, der früh und wiederholt die Aufmerksamkeit auf sich lenkte. So kommt es, dass sich die Lehre von der Diffusion überhaupt aus der Erforschung gerade dieses Falles entwickelt hat. Die auffallende Eigenthümlichkeit der Diffusion von Flüssigkeiten durch Membranen besteht darin, dass sie in der Regel nicht zu gleichen Volumen durch die Membran hindurch gehen, sondern in ungleicher Menge. Die dadurch bedingten Veränderungen des Volums können sehr beträchtlich sein und haben bei allerlei Gelegenheiten die Aufmerksamkeit der Forscher erregt.

Man hat in der Folge eine grosse Reihe von verschiedenen Membranen zu diesen Untersuchungen benutzt, da man annahm, dass die Membran die Vorgänge wesentlich beeinflussen könne. Es seien hier aufgezählt:

1. Thierische Membranen: Thierische Blase (die zu genauen Versuchen mit Alkohol und Aether von Fett, mit Wasser von Harnsäure und anderen löslichen Stoffen gereinigt sein muss), Goldschlägerhäutchen (das präparirte Peritoneum verschiedener Thiere), abgelöste Epidermis.

2. Pflanzliche Membranen: Das Legumen von Colutea arborescens, die Scheide von Allium porrum, chinesisches Reisspapier (das spiralförmig abgeschälte Mark einer Araliacee, bestehend aus 4—5 Lagen von Zellen mit structurloser Membran und ohne Intercellularsubstanz, für Gummi und Eiweiss undurchlässig). Dann vor allen Dingen die Blätter von Algen, welche einzellig sind, z. B. Caulerpa prolifera (Schacht).

Wichtiger als alle diese ist das Pergamentpapier, das

in der Technik wie im Laboratorium jetzt fast ausschliesslich bei Diffusionsvorgängen angewendet wird. Es wird erzeugt, indem man Papier kurze Zeit in concentrirte Schwefelsäure taucht, wodurch es homogene Consistenz und grössere Festigkeit erlangt, und sich Flüssigkeiten gegenüber wie etwa thierische Blase verhält.

Ferner dienten zu Versuchen Collodium- und Kautschukmembranen.

3. Von anorganischen Substanzen: Schiefer, Sandstein, Marmor, Gips und andere Stoffe, Hydrophan.

Wiederum aber wurde bei weitem am häufigsten ein künstliches Product benutzt: unglasirter Thon.

Im Jahre 1748 brachte Nollet ein mit Schweinsblase verschlossenes Gefäss voll Weingeist, um es sicher von der Luft abzuschliessen, unter Wasser. Zu seinem Erstaunen bemerkte er, dass alsbald die Blase sich vorzuwölben begann. Es war im Innern so starker Druck entstanden, dass beim Anstechen der Blase die Flüssigkeit hoch aufspritzte. Er schloss sogleich, dass Wasser durch die Blase eingedrungen sei, und dies bestätigte sich durch die Gegenprobe, bei der ein Gefäss mit Wasser, in Alkohol gebracht, die umgekehrte Erscheinung zeigte.

Damit der Versuch gut gelinge, empfiehlt es sich, absoluten Alkohol zu verwenden und viel Wasser, womöglich dauernd erneuertes, zu nehmen. Gewöhnlich findet sich unter der Schweinsblase auch eine Gasansammlung, infolge der Austreibung der im Wasser oder im Alkohol absorbirt enthaltenen Luft.

Nollet's Beobachtung gerieth in Vergessenheit, obgleich zwanzig Jahre später Parrot auf dieselbe Erscheinung aufmerksam machte.

Als 1811 v. Sömmering (in Frankfurt a. M.) die Ver-

Nollet: In Pogg. Ann. 63, 1844, S. 350, ist der Originalbericht aus Hist. de l'Acad. Roy. des Sc., 1748, p. 101, wörtlich abgedruckt.

Sömmering: Ueber das Verdünsten des Weingeists durch thierische Häute und durch Kautschuk. Denkschr. d. k. Acad. d. Wiss. München 1811. 12. Gilbert's Ann. 61. 1819. S. 104.

dunstung von mit Wasser verdünntem Weingeist untersuchte, fand er, dass aus solchem Gemisch, wenn es offen steht, fast ausschliesslich der Weingeist abdunstet. Ein über das Gefäss gebundenes Papier ändert an der Verdunstung wenig. Durch ein Tannenbrett entwichen Wasser und Alkohol in solchem Verhältniss, dass das zurückbleibende Gemisch seine Zusammensetzung nicht änderte. Besonderes Gewicht legte aber Sömmering auf die Beobachtung, dass durch thierische Blase nur Wasser abdunstete, sodass schliesslich reiner Weingeist zurückblieb. Sömmering versuchte hierauf eine Methode zur Veredlung des Weins zu begründen, indem er gleich in seiner Mittheilung bemerkt: „Die Alten hatten daher nicht Unrecht ihre Weine in Schläuchen aus thierischen Häuten aufzubewahren, wie das auch noch jetzt auf einigen griechischen Inseln, in Spanien und in Portugal der Fall ist.“

Auch von Mitchell in Amerika wurden ähnliche Versuche mit Kautschuk angestellt, die aber hier nicht gelungen sind.

Fischer suchte dies Ergebniss zu erklären, indem er den Versuch von Nollet wiederholte. Dies führte ihn dazu, auch die Diffusion von Salzlösungen durch thierische Membranen zu untersuchen.

Diese pflegte auch Johannes Müller in seiner Vorlesung durch einen Versuch zu demonstriren. Ein kleines Glasgefäss, in dem sich eine geringe Menge verdünnte Eisenchloridlösung befand, wurde mit Froschharnblase überbunden. Das Gefäss wurde dann plötzlich umgedreht und

Mitchell: Vgl. Pogg. Ann. 28. 1833. S. 331. Ferner Journ. of the Roy. Instit. IV 101 und V 307.

Kautschuk: Das Auflösen und Wiederherstellen des Federharzes etc. Von Dr. F. Lüdersdorf. Berlin. Boike (Veit) 1832. S. 21. Methode des Aufblasens.

Fischer: Ueber die Eigenschaften der thierischen Blase, Flüssigkeiten durch sich hindurch zu lassen und sie in einigen Fällen anzuheben. Gilbert's Annalen. 72. 1822. S. 300.

Joh. Müller: Handb. d. Physiol. 4. Aufl. Coblenz 1844. I. S. 196.

in Ferrocyankaliumlösung getaucht. Fast im selben Augenblick färbte sich die Membran durch die Reaction der beiden Lösungen blau, ein Zeichen, dass durch diese, allerdings sehr dünne Membran die Diffusion ausserordentlich schnell zu Stande kommt. Man kann den Versuch zweckmässig so modificiren, dass man zwei Schwämmchen, von denen jeder mit einer der beiden Lösungen getränkt ist, von beiden Seiten gleichzeitig gegen die Membran drückt.

Endlich, im Jahre 1826, fiel die Angelegenheit in die Hände DUTROCHET's.

Beobachtungen an Achlya prolifera, an einem kranken Fisch und an einem Schneckenpenis führten ihn zu Versuchen, auf die er eine lange Reihe phantastischer Behauptungen gründete:

1. Wenn zwei verschiedene Flüssigkeiten durch eine poröse Membran getrennt seien, entständen zwei entgegengesetzte Ströme, die er als Endosmose und Exosmose (von ὠθέω, stossen) bezeichnete. Diese Ausdrücke sind nicht einmal philologisch richtig gebildet, wie LOTZE bemerkt. Es müsste heissen Enosmose (ἐνόσμωσις). Ueberdies wird hier der gleiche Vorgang für jede der beiden Flüssigkeiten mit einem besonderen Namen belegt.

Um diese Erscheinungen zu studiren, construirte er das nach ihm benannte Endosmometer. In ein Gefäss, das die eine der zu untersuchenden Flüssigkeiten enthält, taucht eine am unteren Ende erweiterte und mit einer porösen Membran zugebundene Glasröhre mit Maasstheilung, die bis zu einer bestimmten Höhe mit der anderen Flüssigkeit gefüllt wird. Tritt Diffusion ein, so kann man an der veränderten Standhöhe der Flüssigkeit im Glasrohr die Zunahme oder Abnahme des Volums erkennen.

Dutrochet: L'agent immédiat du mouvement vital dévoilé dans sa nature et son mode d'action chez les végétaux et chez les animaux. Paris 1826.

Endosmose: Vgl. Anm. u. Zusätze 74.

Aus der Volumveränderung der einen Flüssigkeit lässt sich aber über die Natur des Vorganges wenig ermitteln. Ueberdies werden bei der gewählten Anordnung mit der Volumänderung gleichzeitig die Druckverhältnisse in beiden Flüssigkeiten geändert.

Dutrochet behauptete ferner:

2. Es finde in vielen Fällen keine Endosmose statt. In diesen Fällen hatte er nicht bemerkt, dass die beiden entgegengesetzten Ströme gleich seien, oder dass die Schwere dem einen entgegenwirkte.

3. Die Abwesenheit der Endosmose liege an einem Fehler, sei es der Flüssigkeiten, sei es der Scheidewand.

4. Es gebe wirksame und unwirksame Scheidewände. Wirksame Scheidewände seien: Thierische und pflanzliche Membranen, gebrannter Thon. Unwirksame: Marmor und Sandstein.

Die Wirksamkeit des Marmors wird später zugegeben.

5. Es gebe so auch wirksame und unwirksame Flüssigkeiten. Letztere zerfallen in solche, die die Endosmose direct aufheben, und in solche, die sie durch Einwirkung auf die Scheidewand aufheben.

Der ersten Art sind die Lösungen organischer Körper, der zweiten Art Schwefelsäure und Schwefelwasserstoff, der dritten Säuren und Salze.

6. Die Ursache der Endosmose sei die Elektricität, da sie durch die Gesetze der Capillarität nicht erklärt werden könne. Die Annahme, dass Elektricität im Spiele sei, beruhte auf dem Porret'schen Versuch der elektrischen Endosmose.

Von dieser Lehre machte nun Dutrochet die ausgedehnteste Anwendung auf alle erdenklichen Phänomene des Thier- und Pflanzenlebens, mit Einschluss der Pathologie. Er hielt aber seine Meinungen nicht fest, denn schon 1832 gab er zu

Im Jahre 1832: Vgl. Pogg. Ann. 28. 1833. S. 359.

1. dass seine Eintheilung der Scheidewände und Flüssigkeiten nicht statthaft sei;
2. dass Elektricität nicht die Ursache der Endosmose sei;
3. behauptete er, diese Ursache sei die durch Capillarität beherrschte Anziehung der beiden Flüssigkeiten, und zwar solle die stärker durchströmende im Capillarrohr höher stehen.

Dies trifft zwar für Alkohol, Kochsalzlösung, Glaubersalzlösung und Wasser zu, gilt aber keineswegs allgemein.

Auch POISSON glaubte die Endosmose durch Capillarität erklären zu können, erklärte jedoch nur die Strömung in Einer Richtung. Schon MAGNUS dagegen sah in der Endosmose nur einen modificirten Diffusionsvorgang. Beide diffundirenden Flüssigkeiten hätten zwar das gleiche Bestreben sich zu mischen, da sie aber durch die Membran nicht mit gleicher Geschwindigkeit hindurchdringen könnten, so träten die beobachteten Volumänderungen ein.

Im Jahre 1843 stellte auch BRÜCKE auf Grund der bekannten Wirkungen fester Körper auf die sie berührenden Gase und Flüssigkeiten, insbesondere des Phänomens der Verdrängung von Flüssigkeiten, eine Theorie der Endosmose auf, die für eine grosse Zahl von Fällen zutreffend erschien. Wenn man auf eine Glasplatte, die vollkommen rein sein muss, einen Tropfen Olivenöl bringt, so breitet er sich bis zu einer bestimmten Grösse aus, die durch den Randwinkel des Oels bei der Berührung mit Glas bestimmt ist. Setzt man nun daneben einen Tropfen Terpentinöl, so breitet sich dieser unbegrenzt aus, und wo er den Oeltropfen berührt, verdrängt er ihn von der Glasfläche.

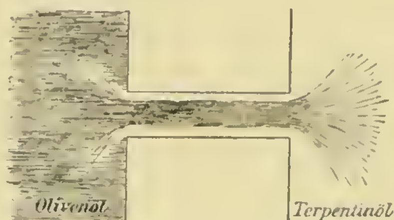
Denkt man sich nun zwei Behälter, die mit Olivenöl und mit Terpentinöl gefüllt sind, durch eine enge Röhre

---

Poisson: Nouvelle théorie de l'action capillaire. Paris 1831.
Magnus: Ueber einige Erscheinungen der Capillarität. Pogg. Ann. 10. 1827. S. 153.

in Verbindung gesetzt, so ist klar, dass das Terpentinöl sich längs der Wand in die Röhre hineinziehen und sich am anderen Ende mit dem Olivenöl vermischen wird, während das Olivenöl sich in der Mitte der Röhre ganz allmählich mit dem Terpentinöl mischt. Wären beide Flüssigkeiten in einem weiten Gefässe nach ihrem speci-

Fig. 23.



BRÜCKE's Theorie der Endosmose. Photographie nach dem Wandbild. Das dunkle Olivenöl strömt von links durch die Mitte der Röhre, und verbreitet sich in dem hellen Terpentinöl. das von rechts an den Wänden der Röhre nach links strömt.

fischen Gewichte über einander geschichtet, so würde keine Verschiedenheit der Mischung eintreten, je enger aber die Verbindungsröhre ist, desto grösser ist verhältnissmässig die Wandfläche, und desto grösser muss auch die Menge Terpentinöl sein, die als Wandschicht unvermischt in den anderen Behälter gelangt. Auf diese Weise erklärt sich, dass viel mehr Terpentinöl zum Olivenöl übertritt, als umgekehrt. Aus dem Verhalten diffundirender Lösungen lässt sich schliessen, dass auch hier die Porenwandung einen ähnlichen Einfluss hat, und dass sich in den Poren Schichten von verschiedener Concentration bilden.

Eine mächtige Stütze erhielt BRÜCKE's Theorie, als dieser Schluss sich durch die oben besprochenen Beobachtungen über das Verhalten der Lösungen in quellbaren Substanzen bestätigte.

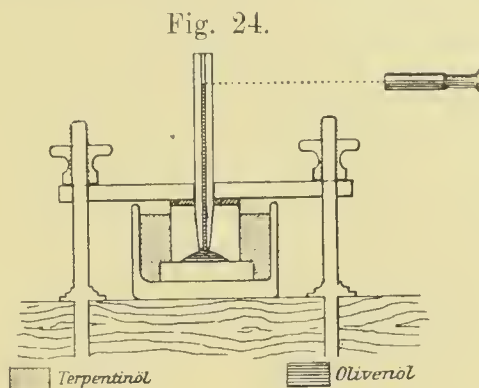
Zu seinen Versuchen bediente sich BRÜCKE eines eigens construirten Apparates, in dem die Flüssigkeit nicht durch

Lösungen in quellbaren Substanzen: Vgl. S. 111.

Apparates: BRÜCKE. Beiträge zur Lehre von der Diffusion etc. Pogg. Ann. 58. 1843. S. 77.

eine poröse Membran, sondern durch einen capillaren Spalt diffundirt. Der Apparat besteht im Wesentlichen aus einer plangeschliffenen Glasplatte, auf der ein Glasgefäss mit

Fig. 24.



Brücke's Diffusionsversuch. Photographie nach dem Wandbild.

gleichfalls plangeschliffenem Rande mittelst Schrauben festgepresst werden kann. In das Gefäss wird die eine der beiden zu untersuchenden Flüssigkeiten eingefüllt, und dann das Gefäss mit der aufgepassten Platte in die andere Flüssigkeit versenkt. Je nach dem Drucke, den die Schrauben ausüben, bleibt zwischen den ebenen Glasflächen ein gröberer oder feinerer Spalt übrig, durch den die Flüssigkeiten diffundiren.

Brücke's Theorie musste jedoch fallen, als Fick mit einer Reihe von Versuchen auftrat, die mit der Vorstellung von zwei getrennten Strömen ungemischter Flüssigkeit unvereinbar sind. Nach Brücke's Anschauung müsste die Enge der Poren einen grossen Einfluss auf das Verhältniss der hindurchtretenden Mengen haben, ebenso müsste die Zähigkeit der Flüssigkeiten dies Verhältniss beeinflussen. Fick zeigte nun, dass keine von diesen und einer Anzahl weiterer Folgerungen durch das Experiment zu bestätigen ist. Selbst wenn die Flüssigkeiten durch Kreidezusatz zu einem steifen Brei gemacht wurden, sodass Mischungs-

A. *Fick:* Ueber Diffusion. Pogg. Ann. 94. 1855. S. 59.

ströme nicht wohl entstehen konnten, fand dennoch Diffusion statt.

Inzwischen suchte VIERORDT genauere Beobachtung der allen diesen Theorien zu Grunde liegenden Thatsachen zu ermöglichen, indem er dem Endosmometer eine veränderte Form gab. Er liess die Flüssigkeiten von beiden Seiten in abgeschlossenem Raume gegen die senkrecht angebrachte poröse Scheidewand treten und brachte an jeder der beiden Kammern ein Steigrohr mit besonderer Messvorrichtung an. Auch in dieser Form blieb aber der störende Einfluss der Druckänderung beim veränderten Stande der Flüssigkeiten in den Steigrohren bestehen.

Daher that endlich TH. JOLLY den kühnen Schritt, dies im Princip verwerfliche Instrument ganz zu verlassen. Bei seiner Versuchsanordnung taucht ein kleines, unten mit poröser Membran verschlossenes Gefäss in eine grosse häufig erneuerte Masse destillirten Wassers. Das Gefäss, das nur wenige Gramm der Flüssigkeit enthält, deren Diffusion mit Wasser untersucht werden soll, ist an einem Faden aufgehängt, dessen Länge durch Aufwinden so regulirt wird, dass die Flüssigkeit innen und aussen gleichen Stand hat. Die Veränderung, die durch den Diffusionsvorgang eintritt, wird durch Abwägen, nicht durch Volumbestimmung, festgestellt, sodass mit einem Schlage die Ungenauigkeit beseitigt ist, die bei der älteren Methode durch die Wölbung der Membran entstehen musste.

JOLLY gelangte zu dem Ergebniss, dass für eine bestimmte Menge eintretenden Wassers eine constante Menge der diffundirenden Substanz austrete. Die Menge des Wassers, die demnach für die Gewichtseinheit einer Substanz eintritt, bezeichnete JOLLY als deren endosmotisches Aequivalent. Im Uebrigen fand er die Menge der in der

---

Vierordt: Beschreibung eines verbesserten Endosmometers. Pogg. Ann. 73. 1845. S. 519.

Jolly: Experimentelle Untersuchung über Endosmose. Pogg. Ann. 78. 1849. S. 261.

Zeiteinheit übertretenden Stoffe ceteris paribus der Concentration und der Oberfläche der Blase proportional.

Ludwig hat indessen durch Versuche nach derselben Methode die Unhaltbarkeit der Lehre vom Diffusionsäquivalent, wie sie von Jolly aufgestellt worden, dargethan.

Er zeigte, dass das angeblich constante Diffusionsäquivalent abhängig sei von der Concentration, von der Natur der Scheidewand in jedem einzelnen Falle, und von der Temperatur.

Was zum Beispiel die Concentration betrifft, so wurde eine Versuchsreihe mit Glaubersalz ($Na_2SO_4 + 10\ H_2O$) in folgender Weise angestellt: Es diffundirte im Jolly-schen Apparat reines Wasser durch eine Schweinsblase in Lösungen verschiedener Concentration und jedesmal wurde das endosmotische Aequivalent bestimmt.

Es ergab sich für

die Concentration	das Aequivalent (Verhältniss von Wasser zu Salz)
1. Gesättigte Lösung . . .	5,8 : 1
2. „ —3,8 proc. „ . . .	6,8 : 1
3. 5,1—1,7 proc. „ . . .	10,5 : 1
4. 1,0—0,1 proc. „ . . .	21,5 : 1

Der Gang der Diffusion bei abnehmender Concentration lässt sich also durch eine immer stärker ansteigende Curve darstellen. Je verdünnter die Lösung, um so mehr Wasser geht für eine gleiche Salzmenge hindurch.

Cloetta hat unter Ludwig diese Versuche am Herzbeutel weiter ausgedehnt auf die gleichzeitige Diffusion zweier Lösungen. Diese beeinflussen einander in der Schnelligkeit der Aufnahme und Menge des Aufgenommenen, zum Beispiel Kochsalz und Glaubersalz so, dass vom letzteren um so weniger aufgenommen wird, als schon vom ersteren da ist.

Ludwig: Lehrb. d. Physiol. I. 1852. S. 65. 66.

Nach FICK würde das Aequivalent auch noch abhängig von der Schwere sein, sodass, wenn die Salzlösung unten, das Wasser oben ist, merkwürdiger Weise mehr Salz zum Wasser hindurchtritt als im anderen Falle, und das Aequivalent um eine Einheit grösser ausfällt, wenn die Bewegung des Salzes im Sinne der Schwere geschieht.

Wie die Sachen stehen, müssen also die Gesetze der Hydrodiffusion durch poröse Scheidewände jetzt folgendermaassen zusammengefasst werden:

1. Das Diffusionsäquivalent ist abhängig von der Natur der Membran und der diffundirenden Stoffe.

2. In der Zeiteinheit geht um so mehr hindurch, je grösser die Membran.

3. Je grösser die Concentration oder der Unterschied der Concentration der Lösungen.

4. Je höher die Temperatur,

5. Je dünner die Membran,

6. Je weniger sich mechanischer Druck widersetzt.

Eine Gesetzmässigkeit, die das nähere Eindringen in die Natur des Phänomens in Aussicht stellte, kann unter diesen Umständen nicht hervortreten.

Die unechten Lösungen oder colloïde diffundiren, wie auch BRÜCKE angegeben hat, ganz ausserordentlich langsam im Vergleich zu den krystalloïden. Vom Eiweiss kann man sagen, sein endosmotisches Aequivalent sei unendlich gross, das heisst, durch eine poröse Scheidewand tritt überhaupt kaum Eiweiss hindurch. Der Unterschied zwischen der Diffundirbarkeit der Krystalloïde und Colloïde ist sogar so gross, dass eine Methode zur chemischen Trennung darauf hat gegründet werden können.

Diese Methode, die GRAHAM angegeben hat, und die seitdem vielfach praktisch verwendet wird, ist die Dialyse. Den dazu erforderlichen Apparat, den Dialysator, fertigt

---

Fick: Neue Ausstellung an dem Begriffe des endosmotischen Aequivalents. Pogg. Ann. 92. 1854. S. 333.

Angegeben hat: Pogg. Ann. 114. S. 187.

man nach GRAHAM am zweckmässigsten, indem man einen Kautschukstreifen zu einem Reifen von einigen Zollen Durchmesser und etwa anderthalb Zoll Breite formt, und diesen Reifen, nach Art eines Tambourins, mit Pergamentpapier bespannt. Die so hergestellte flache Schale mit porösem Boden füllt man mit der zu analysirenden Lösung von colloïden und krystalloïden Stoffen, und lässt sie auf einem möglichst grossen Gefässe voll Wasser schwimmen. Durch diese Anordnung wird erreicht, dass sich die leichter diffundirenden krystalloïden Stoffe schnell und vollständig aus der Lösung abscheiden, während die colloïden zurückbleiben.

Wird zum Beispiel ein Gemisch von Gummi arabicum- und Zuckerlösung dialysirt, so sind nach 24 Stunden drei Viertheile des Zuckers durch die Membran in das Wasser übergegangen, während der Gummi so vollständig zurückgehalten wird, dass sich das Wasser bei Zusatz von Bleiacetat nicht trübt. Füllt man den Dialysator mit Lösung von kieselsaurem Natron und Kochsalz, so ist nach etwa 5 Tagen das Kochsalz so vollständig ausgetreten, dass die Lösung keinen Niederschlag mit Silbernitrat giebt, während vom kieselsauren Natron nur der achte Theil durch die Membran entwichen ist.

Man hat sich dieser Trennungsmethode beim Nachweis der Arsenikvergiftung bedient, um das in organischen, eiweisshaltigen Flüssigkeiten gelöste Gift in eiweissfreier Lösung zu erhalten.

Diffusion mit Niederschlägen.

Wir haben bisher im Allgemeinen die Fälle ausgeschlossen, in denen die beiden diffundirenden Flüssigkeiten chemische Wirkungen aufeinander ausüben, allein dieser Fall erscheint hier doch berücksichtigenswerth.

Schon in JOH. MÜLLER's Versuch trat bei Berührung beider Flüssigkeiten ein Niederschlag auf. Dieser Fall ist von KÜRSCHNER weiter studirt worden. Der Nieder-

schlag findet nach ihm immer in der Membran und zwar entweder auf der einen oder auf der anderen Seite statt, nie auf beiden Seiten. Diffundiren durch eine Membran chromsaures Kali und essigsaures Blei, so bildet sich der Niederschlag auf der Seite des Bleies, gleichviel, welche relative Concentration in den Lösungen vorhanden war. Nimmt man Blutlaugensalz und Eisenchlorid, so ist der Niederschlag auf Seiten des Blutlaugensalzes, aber nur bei gleicher Concentration, bei verschiedener auf Seiten der concentrirteren Lösung.

Der Sinn ist natürlich, dass der Niederschlag auf der Seite der Flüssigkeit stattfindet, welche schwerer eindringt.

Ein chemischer Niederschlag kann zur Bildung zusammenhängender Membranen, sogenannter Haptogenmembranen, führen, auch ohne dass die Reaction innerhalb eines porösen Gerüsts vor sich geht. Von dem Gedanken ausgehend, dass Aehnliches bei der Zellbildung stattfinde, untersuchte Traube die Eigenschaften der Membran, die beim Einträufeln von alkalischer Leimlösung in Tanninlösung entsteht. Er fand, dass diese Membran für gewisse Stoffe leicht, für andere dagegen völlig undurchdringlich war. Je nachdem die Niederschlagsmembranen durch die Reaction verschiedener Stoffe entstehen, sind sie für bestimmte Stoffe durchdringlich oder undurchdringlich. Die durch Umhüllung eines Tropfens mit seiner Membran dargestellte „künstliche Zelle" nimmt also Stoffe anscheinend mit Auswahl in sich auf: sie wächst oder schrumpft daher je nach der Beschaffenheit ihres Inhalts und ihrer Umgebung.

Auf der Bildung von Niederschlägen in porösem Material beruht die Kunst des Färbens. Das Echtfärben besteht

---

Niederschlag: Vgl. Anm. u. Zusätze 74.
Haptogenmembranen: Siehe S. 78.
M. Traube: Centralblatt f. d. med. Wissensch. 1864. No. 39.
Undurchdringlich: Schon Fick, Pogg. Ann. 94, 1855, S. 59. hatte an Collodiumhäutchen Aehnliches beobachtet.

darin, dass man im Innern des zu färbenden Gewebes, der Holzfaser, des Horns, der Seide, einen unlöslichen Niederschlag erzeugt. Hierzu tränkt man zuerst den Stoff mit einem Eisenoxydsalz, wenn man stumpfe, oder mit einem Zinn- oder Aluminiumsalz, wenn man glänzende Farben erzielen will, und lässt diese Substanz sich mit dem Farbstoff, Krapp, Indigo u. a. m., umsetzen, sodass sich eine unlösliche Verbindung bildet. Die Substanz heisst die Beize, die Farbstofflösung Küpe. Die Färbung tritt natürlich nur da ein, wo man die Beize hat einwirken lassen. Auf diese Weise kann man Muster aussparen, indem man beispielsweise auf weissem ausgewaschenem Kattun (Calico) mit Alaungummiwasser als Beize den Grund des Musters druckt, und dann in einer siedenden Abkochung von Rothholz färbt. Aus den unbedruckten Stellen, die keine Beize enthalten, wäscht sich das Rothholzpigment sogleich wieder aus, so dass ein weisses Muster auf rothem Grunde entsteht.

Die Anilinfarben bedürfen, soweit es sich um thierische Faser handelt, keiner Beize, sie vermögen zum Beispiel Wolle ohne weiteres echt zu färben.

Von der Rolle der Hydrodiffusion im Organismus.

Alle erdenklichen Phänomene des thierischen Stoffwechsels fallen unter den Begriff der Transfusion und Diffusion, insofern dabei Flüssigkeiten unter dem Einfluss äusseren Druckes oder molecularer Kräfte in Bewegung gesetzt werden. Insbesondere ist die Kenntniss der Diffusion colloïder und krystalloïder Lösungen durch Scheidewände für die Physiologie von der allergrössten Bedeutung.

Farbstoff: Vgl. Anm. u. Zusätze 74.

Dies wurde, wie schon bemerkt, von DUTROCHET zuerst eingesehen und der Fortschritt, den er so gemacht hat, leuchtet ein, wenn man erfährt, dass die ältere Physiologie, um das Durchdringen der Membranen zu erklären, stets genöthigt war, erstens anatomische Poren und zweitens von der Lebenskraft ausgehende Actionen anzunehmen, durch welche die Substanzen fortgetrieben oder angezogen wurden. Solche waren: Absorption, Resorption, Exsudation und andere mehr. Injectionspräparate von RUYSCH schienen die Anschauung zu bestätigen, dass die Blutgefässe offen in den Geweben endigten und in den Drüsen mit den Ausführungsgängen in Verbindung stünden. Zwar war schon MALPIGHI (1665) gegen diese Vorstellung aufgetreten, aber noch HALLER lässt die Gefässe sich fünffach endigen:

I. Vena.	
II. Ductus excretorius.	1. Ausführungsgang.
III. Exhalatio quintuplex.	
1. Cellulosa.	2. Zellgewebe.
2. Pulmonalis.	
3. In Caveas majores.	3. Höhlen.
4. Cutanea.	4. Haut.
5. Glandulosa.	
IV. In Vasa minora.	
Vas lymphaticum.	5. Lymphgefässe.
V. Arteria non rubra.	

Erst E. H. WEBER und JOH. MÜLLER konnten nachweisen, dass die Capillaren die Drüsenschläuche nur umspinnen, und dass also das Blut von dem Secrete im Ausführungsgange durch eine Membran getrennt ist. Nur in wenigen Fällen endigen thatsächlich Gefässe offen in den Saftlücken des Gewebes, so bei höheren Thieren die

Haller: JOH. MÜLLER, Handb. d. Physiol. IV. Aufl. Coblenz 1844. I. S. 347.

Lymphgefässe, bei niederen Thieren, wie zum Beispiel bei den Arthropoden, auch die Blutgefässe.

Ganz allgemein also wurde für die Vorgänge des Stoffwechsels erst durch DUTROCHET's Anwendung der Diffusionslehre eine Möglichkeit des Verständnisses eröffnet. So gross aber dieser Schritt und so fruchtbar das Aperçu, so selten sind die Fälle, in denen die beobachteten Phänomene verständlich auf bestimmte Vorgänge der Diffusion und Transfusion zurückzuführen sind.

Klar und einfach auf Diffusion beruhte die endermatische Methode, Heilmittel anzuwenden, die von der hypodermatischen (subcutanen) Injection verdrängt worden ist. Man liess die Mittel von einer Blasenpflasterwunde aus einwirken, und konnte so zum Beispiel Morphiumwirkung leicht hervorrufen. Die Canthariden selber wirken auch schon so, da neben der örtlichen Wirkung eine allgemeine Wirkung durch die aufgesaugten Bestandtheile zu erkennen ist. Auf dieselbe Weise entsteht schnell Tetanus, wenn man die blossgelegte Jugularvene eines Versuchsthieres mit Strychnin bepudert.

Das schönste Beispiel dieser Art aber liefert die Anwendung der Mydriaka (Atropin) und Miotica (Calabarextract, Eserin) und des Cocaïns, wobei die in den Conjunctivalsack eingeträufelte Lösung durch die unverletzte Cornea diffundirt. Die unverletzte Epidermis dagegen ist, ebenso wie die Korkschicht der Pflanzen, fast vollkommen undurchdringlich, was KRAUSE durch eine Reihe von Versuchen erwiesen hat. Legt man Epidermisstücken eine Zeit lang in Ferrocyankaliumlösung und nachher in Eisenchloridlösung, so wird allerdings die Oberfläche durch die eintretende Reaction blau gefärbt, auf dem Durchschnitt erkennt man aber, dass die Lösung auch nicht einmal spurweise ins Innere der Epidermisschichtung eingedrungen

---

Endermatische Methode: JOH. MÜLLER. Handb. d. Physiol. IV. Aufl. Coblenz 1844. I. S. 198.

ist. Wird ein Stück Haut einem von der Innenfläche wirkenden Wasserdruck von 760 mm Quecksilberhöhe ausgesetzt, so dringt das Wasser durch die unteren Hautschichten hindurch, hebt aber die Epidermis in Blasen ab, zum Zeichen, dass diese das Wasser nicht durchlässt. Bringt man dann das Hautstück mit den Blasen so über dem Spiegel einer Flüssigkeit an, dass die Gipfel der Blasenerhebungen in die Flüssigkeit eintauchen, so findet zwischen dem Blaseninhalt und der umspülenden Flüssigkeit auch keine Diffusion statt. Aus diesen und anderen Versuchen geht hervor, dass die Epidermis für fast alle Flüssigkeiten nahezu undurchdringlich ist: eine Ausnahme machen allein die Lösungen von Säuren, wie denn auch Salpetersäure die Epidermis in ihrer ganzen Dicke gelb zu färben vermag. Trotzdem aber wird über eine grosse Zahl von Beobachtungen berichtet, in denen äusserlich auf die Haut gebrachte Mittel ins Körperinnere übergegangen sind. In diesen Fällen müssen die eindringenden Stoffe ihren Weg durch präformirte Oeffnungen, nämlich durch die Ausführungsgänge der Schweissdrüsen genommen haben, die ja die Epidermis durchsetzen. Das geschieht namentlich dann, wenn das Mittel nicht nur äusserlich aufgetragen, sondern kräftig eingerieben wird, wie das bei Anwendung von Salben, wie zum Beispiel die verschiedenen Quecksilbersalben, unerlässlich ist.

Auf Diffusion beruht ferner zum Theil die Athmung, insbesondere die Kiemenathmung der Fische, wie schon oben angegeben wurde. Die Placentarernährung des Fötus geht in der Weise vor sich, dass die Zotten der embryonalen Placenta in die cavernösen Räume der mütterlichen Placenta eingreifen, sodass das mütterliche Blut mit dem Fötalblut durch die Gefässwände in Diffusionsverkehr tritt, ohne dass eine offene Verbindung besteht.

Hierher gehört auch noch die merkwürdige Beobachtung, dass bei Fröschen, denen man ein Stuhlzäpfchen

von Steinsalz in den After geschoben hat, Trübung der Linse auftritt, die wieder schwindet, wenn das Salz durch reichliches frisches Wasser ausgewaschen ist. Man hat diese Erscheinung mit dem Diabetes-Staar in Beziehung gebracht.

Es fehlt aber nicht an Beispielen und Vorgängen, die als Diffusionserscheinungen nicht zu erklären sind, oder bei denen solche Erklärung sich nachträglich als unhaltbar erwiesen hat. So hatte zum Beispiel Liebig die Theorie aufgestellt, dass die Wirksamkeit der salinischen Purgantien auf Wasseranziehung beruhe, durch die der Darminhalt flüssig und leichter beweglich gemacht werde. Radziejewski hat aber gezeigt, dass die Mittelsalze, ebenso wie andere Abführmittel, ausschliesslich durch Beschleunigung der Peristaltik wirken.

Claude Bernard glaubte den Umstand, dass Curare bei innerlicher Darreichung unwirksam ist, darauf zurückführen zu dürfen, dass es als ein colloïder Stoff nur in sehr geringer Menge durch die Magenwand diffundire. In Wirklichkeit trifft dies nicht zu, und das Curare wirkt nur deshalb innerlich viel weniger stark, weil es fast ebenso schnell wie es vom Magen aufgenommen wird, durch die Nieren wieder ausgeschieden wird.

Von der Secretion (Neurodiffusion).

Das wichtigste Beispiel von Diffusionserscheinungen im thierischen Organismus bildet die Thätigkeit der Drüsen.

Es gilt hier zu erklären, wie die grosse Mannigfaltig-

Trübung der Linse: Vgl. Kunde, Zeitschr. f. wiss. Zool. S. 1857. Vgl. auch J. R. Ewald, Ueber eine Trübung etc. Pflüger's Archiv. 72, 1898, S. 1, wo Literatur angegeben.

Radziejewski: Arch. für Physiol. 1870. S. 37.

Curare: Vgl. Anm. u. Zusätze. 76.

keit der Secrete zu Stande komme, die aus den relativ gleichartigen Körpersäften abgesondert werden.

Es giebt im Thierreich viel mehr verschiedene Arten von Secreten, als der gewöhnliche Kreis der physiologischen Forschung, der sich auf den Menschen und die nächst stehenden Thiere erstreckt, vermuthen lässt. Es finden sich Secrete, die zu den allerverschiedensten Zwecken dienen, und dem Organismus gleichsam zu Schutz- und Trutzwaffen werden. JOHANNES MÜLLER giebt eine Uebersicht über die mannigfachen Zwecke der Drüsensecretion, von denen auch hier einige angeführt werden mögen:

1. Verdauungssäfte, die chemisch wirksame Substanzen und Fermente enthalten.
2. Excrete: Schweiss, Harn, Hauttalg.
3. Geschlechtsproducte: Samen, Ei.
4. Milch.
5. Schleim, um den ganzen Körper oder einzelne Theile schlüpfrig zu machen.
6. Saure Absonderungen: Ameisensäure.
7. Scharfe Absonderungen: Gift der Wespen, des Scorpions.
8. Gift der Schlangen, (aus Giftdrüsen, nicht etwa Speicheldrüsen), Hautdrüsengift der Kröten und Salamander: besonders sei erwähnt die giftige Eidechse Helioderma im südlichen Nordamerika.
9. Geruchverbreitende Secrete:
   a) zum Anlocken der Geschlechter: Moschus, Bibergeil. Drüsen des Krokodils.
   b) als Waffe: Stinkthier, Mephitis suffocans.
10. Pigmente: Trübung des Seewassers durch die „Tintenfische", Saft der Purpurschnecke.
11. Spinndrüsensecret der Arachnidien bei den Spinnen, der Sericterien bei den Raupen u. a., Klebstoff zum

---

Hauttalg: Vgl. Anm. u. Zusätze. 77.

Purpurschnecke: LACAZE DUTHIERS. Ann. d. sc. nat. 1858. Zool. 4 Sér. XII. p. 5.

Nestbau des Stichlings (Spinachia vulgaris). „Essbares Vogelnest“ der Salangane, Collocalia esculenta s. fuciphaga, auf Java.

12. Kalkabsonderung der Gartenschnecken zum Ausbessern der Schale.

13. Die Schwimmblase der Fische füllt sich mit von der Wandung secernirtem Gase.

Endlich bietet die Pflanzenwelt noch zahlreiche Beispiele verschiedenartiger Secrete wie zum Beispiel die Honigabsonderung der Nectarien mancher Blüthen, die insofern der Fortpflanzung dient, als manche Pflanzen durch Insecten befruchtet werden.

Diese Mannigfaltigkeit der Secrete würde sich am einfachsten durch verschiedenen Bau der Drüsen erklären lassen. Als wesentliches Prinzip dieses Baues wurde schon von Joh. Müller die Ausbreitung der secernirenden Oberfläche erkannt, die auf der einen Seite mit der geschlossenen Blutbahn in Berührung steht, nach der andern das Secret absondert. Der Structur nach unterschied er zwei Arten Drüsen, die acinösen und die tubulösen.

Die Beschaffenheit des Secrets ist aber vom Bau der Drüsen vollständig unabhängig. Denn es giebt Drüsen, die völlig gleichen inneren Bau zeigen und doch ein ganz verschiedenes Secret liefern, wie z. B. Schweissdrüsen und Ohrenschmalzdrüsen, und umgekehrt giebt es Drüsen mit ganz gleicher Function, die ganz verschieden gebaut sind. So ist die Thränendrüse der Schildkröte büschelförmig, während die des Menschen typisch acinös ist. Die Leber verschiedener Thiere zeigt die allerverschiedenste Structur, bald ist sie eine einfache Ausstülpung des Darmes, bald ein verzweigtes Canalsystem, bald eine büschel- oder traubenförmig zusammengesetzte Drüse. Ebenso mannigfach sind die Structurformen des Hodens. Nur die Nieren haben im ganzen Thierreich übereinstimmend tubulösen Bau, den

---

Schwimmblase: Vgl. Hüfner. Arch. f. Physiol. 1892. S. 54.

auch die Embryologie bei der Urniere ebenso wie im ausgebildeten Organ nachweist.

Die Verschiedenheit im anatomischen Bau der Drüsen kann also die Verschiedenheit des Secretes nicht bedingen. Es kann aber auch die Secretion nicht als ein blosser Transfusionsvorgang erklärt werden. Offenbar hat zwar der Blutdruck und die Beschaffenheit des Blutes Einfluss auf Menge und Art des Secretes. Hier ist daran zu erinnern, dass die Leber von einer Vene, der Pfortader, Blut zugeführt erhält, dass die Nierenvenen fast arterielles Blut führen u. s. f. Ferner enthalten zwar auch die Secrete meist Stoffe, die im Blute vorgebildet sind, aber häufig in viel grösserer Concentration, und überdies treten auch neue Stoffe hinzu, die im Blute nicht nachzuweisen sind. Auch ist die Zusammensetzung des Secretes in jedem Falle eine ganz charakteristische. Die Milch zum Beispiel enthält nach Bunge die verschiedenen Salze gerade in dem Mengenverhältniss, wie sie im Körper des Säuglings gefunden werden.

Man unterscheidet diejenigen Absonderungen, die nur Stoffe enthalten, die aus dem Blute ausgeschieden worden sind und aus dem Körper eliminirt werden müssen, wie Harn und Schweiss, als Excrete, von den Secreten, die, wie Galle und Samen, Stoffe enthalten, die nicht im Blute vorgebildet sind und in der Lebensthätigkeit des Organismus eine Rolle spielen.

Von den letzten ist es ohne Weiteres klar, dass sie nicht mehr erzeugt werden, wenn das secernirende Organ zerstört worden ist. Nach Exstirpation der Leber wird keine Galle, nach Castration kein Same mehr gebildet (Müller, Moleschott). Die Castration hat ausserdem bekanntlich die eigenthümliche Wirkung, dass die sogenannten secundären Geschlechtscharaktere unausgebildet bleiben. Beim Manne bleibt nach frühzeitiger Castration der Bartwuchs aus und ebenso die stärkere Entwicklung des Kehlkopfes, sowie der Muskulatur und des Knochenbaues überhaupt.

die beim männlichen Geschlecht von der Pubertät an gegenüber dem weiblichen hervorzutreten pflegt.

Diese Thatsachen führen zu der Vorstellung, dass die Entwicklung der männlichen Geschlechtscharaktere bedingt sein muss durch die Thätigkeit des Drüsenepithels der Hoden, mit anderen Worten, dass die abgesonderte Samenflüssigkeit zum Theil resorbirt wird und eine zur normalen Entwicklung des männlichen Körpers erforderliche Rückwirkung auf den Gesammtorganismus ausübt. Eine ähnliche Rolle spielt offenbar auch die „innere Secretion" einer Reihe von anderen Drüsen, die keinen sichtbaren Ausführungsgang haben, und deren Absonderungsthätigkeit äusserlich nicht wahrnehmbar ist, wie Thymus, Thyreoïdea, Nebennieren. Dasselbe gilt auch von der Leber, insofern sie neben der Galle auch die Vorstufe des Leberzuckers, das Glycogen, absondert.

Auf welche Weise kommt aber die Function der Drüsen zu Stande? Heinrich Meckel hat darauf hingewiesen, dass man, um das Wesen der Drüsen verstehen zu lernen, die einfachsten Formen bei den niederen Thieren untersuchen müsse. Bei Piscicola, einer an Fischen schmarotzenden Egelart, bildet eine einzige Zelle, die von einem structurlosen Schlauch umgeben ist, eine selbstständige Drüse. In den Speicheldrüsen der Schnecke (Helix pomatia) sind mehrere solche einzellige Drüsen, deren Schläuche sich zu einem gemeinsamen Ausführungsgang vereinigen. Bei der Biene ist die Zahl der Secretionszellen viel grösser. Der Schlauch umfasst eine Höhlung, die mit aneinander grenzenden sechseckigen Zellen ausgekleidet ist. Hier ist auch schon eine Tunica intima vorhanden, die wie auch ihre Fortsetzung in dem Ausführungsgang Pigmentzellen enthält.

Hier sind also alle Bestandtheile der complicirteren Drüsen vorhanden. Die Form der einfachsten Drüsen

---

H. Meckel: Archiv f. Physiol. 1846. S. 1.

lehrt aber, dass das Wesen der Drüse nicht in einer bestimmten Bauart liegt, sondern nur an das Vorhandensein der Secretionszellen gebunden ist. Der wesentliche Bestandtheil der Drüsen ist einzig und allein das Secretionsepithel.

Die Aussicht, die metabolische Thätigkeit im Innern der einzelnen Zelle zu ergründen, ist gering, und sie wird noch geringer, da ein Umstand hinzukommt, der die Aufgabe ins Ungemessene complicirt. In den grünen Zellen der Pflanzen wird unter dem Einflusse des Sonnenlichts eine ungeheure Mannigfaltigkeit von Stoffen erzeugt. Mit dieser Thätigkeit der Pflanzenzellen ist nun die Thätigkeit der Drüsenzellen zu vergleichen. Aber die Natur ist mit diesen wunderbaren Kräften der organisirten Zelle nicht verschwenderisch: Das Analogon des Sonnenlichts, durch das die Pflanze zu ihrer aufbauenden Thätigkeit angeregt wird, ist für die thierische Drüsenzelle der Einfluss der Nerven. Ebenso wie die Zusammenziehung der Muskeln, der elektrische Schlag der Zitterfische, das Leuchten gewisser Insecten, tritt auch die Secretionsthätigkeit der Drüsenzellen nur dann ein, wenn das Secret gebraucht wird. Die Drüsen stehen unter der Botmässigkeit des Nervensystems; ihre Thätigkeit ist daher im Gegensatz zu den oben besprochenen physikalischen Vorgängen der Transfusion und Diffusion als Neurotransfusion zu bezeichnen. So ist ja allgemein bekannt, dass bei schmerzlicher psychischer Erregung die Thränendrüsen so stark zu secerniren beginnen, dass der Thränenstrom über die Wangen hinabrinnt. Die Bezeichnung „Angstschweiss“ ist sprichwörtlich, ebenso die vermehrte Darmsecretion und verstärkte Peristaltik infolge von Furcht und Angst. Aehnlich verhält sich die Milchsecretion. Man pflegt das Kalb neben die Kuh zu stellen, wenn sie gemolken wird, um durch den Anblick auf die Milchabsonderung einzuwirken. Wollüstige Vorstellungen regen die Secretion der Hoden an.

Es ist Ludwig's Verdienst, die aus diesen Beobach-

tungen gefolgerte Abhängigkeit der Drüsenthätigkeit vom Nervensystem experimentell nachgewiesen zu haben. Er lehrte, dass Tetanisiren der zu den Speicheldrüsen gehenden Nerven Speichelsecretion hervorrufe, und schuf durch diese Entdeckung zugleich festen Boden für Untersuchungen über das Wesen der Secretion im Allgemeinen. Seine Lehre führte zum Begriff der „secretorischen Nerven“, die wie motorische vom Centrum nach der Peripherie des Körpers wirken, und zwar indem sie Drüsen zur Thätigkeit bringen. Bei manchen Drüsen freilich scheint das Nervensystem keinen wesentlichen Einfluss zu haben, zum Beispiel bei den Nieren oder der Leber, wenn man nicht in diesen Fällen eine dauernde Innervation durch spontane Erregung vom Centralnervensystem aus annimmt, die eine ununterbrochene Thätigkeit der Drüsenzellen hervorruft.

Von der Art, wie die secretorischen Nerven auf die Drüsen wirken, wissen wir garnichts. Es ist aber gewiss, dass die Secretion auf specifischer Erregung der Zellen, nicht etwa auf blosser vasomotorischer Wirkung der betreffenden Nerven beruht. Zwar ist bei intensiver Thätigkeit der Speicheldrüsen die Blutzufuhr so stark erhöht, dass selbst das abfliessende Blut arterielle Beschaffenheit zeigt, und ebenso ist das Blut der Nierenvenen nahezu arteriell. Aber der Secretionsprocess wird dadurch nur unterstützt, nicht hervorgerufen, denn der Druck, unter dem der Speichel abgesondert wird, kann weit höher sein, als der gleichzeitig herrschende Blutdruck. Ueberdies hat Heidenhain gezeigt, dass sich die Zellen einer tetanisirten Speicheldrüse morphologisch von denen einer ruhenden Speicheldrüse unterscheiden.

Eine jede Drüse gleicht einem kleinen Laboratorium, in dem unter dem Einflusse der secretorischen Nerven bestimmte chemische Processe durchgeführt werden. Das Material entnimmt die Drüse aus dem Blut und das entstehende Secret giebt sie durch die ihr eigenthümliche Fähigkeit nach dem Ausführungsgange hin ab. Einen

noch merkwürdigeren Vorgang bietet die Thätigkeit der Leber. Ihre einzelnen Zellen sind von Capillaren der Vena portae, die in die Vena hepatica übergehen, und ausserdem von feinen Gallenkanälchen umgeben, sodass jede mindestens an je einer Stelle mit Gefässen und Gallengang in Verbindung steht. Während nun die in den Zellen entstehende Galle durch die Gallenkanälchen ihren Weg in die Gallenblase nimmt, wird gleichzeitig in denselben Leberzellen Zucker gebildet, der in das Blut eintritt.

Schliesslich ist zu erwähnen, dass bei manchen Secretionsvorgängen die Zellen in der Weise betheiligt sind, dass sie, nachdem sie bestimmte chemische Umwandlungen erlitten haben, zu Grunde gehen und so selbst das Secret bilden. Hierher gehören die Talgdrüsen, deren Zellen einer physiologischen Fettdegeneration unterliegen und dann zerfallen, sodass ihr Inhalt als Secret der Drüse erscheint. Ferner kommt auch schleimige Degeneration von Drüsenzellen vor, wo dann die beim Zerfall der Zellen frei werdenden Schleimklümpchen im Secrete erscheinen. Endlich werden manche Drüsenzellen durch das hervordringende Secret ausgeschwemmt, sodass sie zu Grunde gehen, so besonders die Labzellen.

Ein besonderer Fall dieser Art ist die Spermatogenese, bei der nicht eine blosse Degeneration der Zellen, sondern eine vollständige Umwandlung der Zellbestandtheile zu einem neuen Producte stattfindet.

Die Erscheinung der Kataphorese legt es nahe, zur Erklärung der Neurotransfusion nach Beziehungen zwischen Secretion und Elektricität zu suchen. Thatsächlich hat man an Secretionsorganen elektrische Erscheinungen wahrnehmen können, die mit der Thätigkeit der Drüsenzellen in Zusammenhang stehen. Am leichtesten kann man dies an drüsenreichen Häuten, wie die Magen- und Darmschleimhaut verschiedener Thiere, die Haut der Frösche

---

Secretion und Elektricität: Vgl. S. 127.

und anderer nackter Amphibien, nachweisen, weil sich hier die Drüsen in regelmässiger Anordnung finden. An solchen Drüsencomplexen findet man im Ruhezustande die die Ausführungsgänge enthaltende Seite negativ gegenüber der die Drüsengründe enthaltenden. Werden die Drüsen zur Thätigkeit gereizt, so nimmt der Ruhestrom ab, er erleidet eine negative Schwankung, ganz ähnlich den Strömen der Nerven und der Muskeln. Diese Beobachtung lässt sich aber besser zum Beweis der activen Betheiligung der Zelle am Secretionsvorgang verwerthen, als zur Erklärung des Vorganges selbst.

Noch weniger Bedeutung für die eigentliche Aufgabe hat eine zweite Reihe von Beobachtungen, aus denen hervorgeht, dass gewisse thierische Absonderungen den Körper in negativ elektrisirtem Zustande verlassen.

Vassalli-Eandi ist der Urheber dieses Theils der Lehre von der thierischen Elektricität. Er entdeckte, dass der in ein metallenes isolirtes Gefäss gelassene Urin negativ elektrisirt sei. Diese Angabe wurde von Volta bestätigt, der sie zugleich durch eine Gegenprobe vervollständigte. Als er eine grosse Spritze mit warmem Urin anfüllte und nun in einem viel kräftigeren Strahl, als ihn die Zusammenziehung der Blase zu erzeugen vermag, in das isolirte Gefäss trieb, erhielt er niemals auch nur das geringste Zeichen von Elektricität. Der Entdecker knüpfte an diese Beobachtung weitgehende Folgerungen, indem er behauptete, die Absonderungen seien durchweg negativ, das Blut dagegen positiv elektrisch, daher das Goldblattelektroskop als „Vitalitometer" dienen könne.

Ein anderer Fall dieser Art ist die elektrische Ladung der Spinnenfäden, wenn sie aus der Spinndrüse abgesondert werden. John Murray fand die frisch gezogenen Fäden negativ elektrisirt. Seine Untersuchung erstreckte sich namentlich auf das Gespinnst der Aranea aëronautica,

---

Reihe von Beobachtungen: Vgl. E. du Bois-Reymond. Thier. Elektr. Berlin 1848. I. S. 22.

der Erzeugerin des „fliegenden Sommers". Nähert man eine geriebene Stange Siegellack dem hängenden Faden, so wird er davon augenscheinlich abgestossen. Hält man die geriebene Stange über das Thier, so steigt es augenscheinlich herab, und wenn man es auf stark geriebenen Siegellack fallen lässt, so springt es mit bedeutender Kraft in die Höhe. Nähert man zwei Spinnen, die jede an ihrem Faden hängen, einander, so stossen sie sich gegenseitig ab. Eine geriebene Glasröhre schien dagegen den Faden und mit ihm die Spinne anzuziehen. FECHNER bestätigt diese Ergebnisse durchaus. Ueber ihren erdenkbaren Nutzen in der Oekonomie der Spinnen urtheilt MURRAY folgendermaassen. Er stellt sich erstens vor, dass bei herrschender positiver Elektricität der oberen Luftschichten die Fäden vermöge ihrer negativen Elektrisirung von selbst einen Zug nach oben erhalten und aufsteigen können. Zweitens bemerkt er, dass die in der Luft gesponnenen Fäden sich nicht mit einander vereinigen, sich vielmehr stets von einander absondern, und er vermuthet, dass dies die Folge der gleichnamigen Elektrisirung aller sein dürfte. Was den Ursprung dieser Elektricität betrifft, so sagt er nur: „Beim plötzlichen Aufziehen eines ganz fein gesponnenen Glasfadens habe ich bemerkt, dass er in der verticalen Richtung blieb und bei der Untersuchung fand ich ihn negativ elektrisch."

Aus keiner der erwähnten Beobachtungen lässt sich mit Sicherheit schliessen, dass die Elektricität für den Secretionsprocess mehr als eine Begleiterscheinung sei. Die Vorgänge in der thätigen Drüsenzelle sind ebenso wie die in der thätigen Muskel- und Nervenfaser noch vollständig dunkel. Soweit man sehen kann, erscheint aber das Problem, das sich hier der Wissenschaft bietet, wenigstens lösbar, im Gegensatz zu Räthseln, wie das der Empfindung oder des Bewusstseins, von denen das Dichterwort gilt:

Ins Inn're der Natur dringt kein erschaffner Geist.

Anmerkungen und Zusätze.

1. S. 6. *Lehre von der Transfusion und Diffusion:*

Hier findet sich für die Vorlesung angemerkt: *kein Lehrbuch, LUDWIG's Kapitel.* Hinweis auf den Abschnitt: „Physiologie der Aggregatzustände" in LUDWIG's Lehrbuch der Pysiologie des Menschen. Bd. I. Heidelberg 1852. S. 51.

2. S. 7. *Diffusion:*

Dies Wort braucht DALTON schon im Titel der Arbeit: On the tendency of elastic fluids to diffusion through each other. (Vortrag, gehalten 1802, gedruckt in Memoirs of the Litterary and Philosophical Society of Manchester. New Series. Vol. I. 1805.) Das Wort dürfte an dieser Stelle ursprünglich mit ganz allgemeiner Bedeutung gestanden haben, also etwa mit „Vertheilung" zu übersetzen sein, während es später durch die unmittelbare Uebernahme ins Deutsche den Werth eines Kunstwortes erhalten hat. Der Uebertragungen „Austausch" und „Auswechselung" bedient sich F. WÖHLER (Ueber Sauerstoffgasentwicklung aus dem organischen Absatz eines Soolwassers, Pogg. Ann., 57 [133], 1842, S. 309): „Ich zweifele nicht, dass diese Luft ursprünglich reines Sauerstoffgas gewesen ist, das sich aber wie Gas in einer thierischen Blase allmählich mit atmosphärischer Luft auswechselte."

3. S. 7. *Molekularporen:*

Hier findet sich die Bemerkung: * Unmöglichkeit die Poren zu sehen, Fraunhofer, Keber *, die in der ältesten Ausarbeitung wie folgt ergänzt wird: „Diese Poren, welche die Atome trennen, werden wohl nie uns zur Anschauung kommen, und die Beobachter wie Keber, die da glauben, die Atome gesehen zu haben, irren sich. Unser Sehen hat eine bestimmte Grenze, die gegeben ist durch die Natur des Lichts, wenn ein Gegenstand kleiner ist als $^1/_4$ der kürzesten Wellenlänge etwa des blauen oder violetten Lichts, so hört er auf, sichtbar zu sein; zwei Punkte innerhalb dieser Entfernung können nicht unterschieden werden. Da sich nun annehmen lässt, dass die Atome noch kleinere Abstände haben, so muss man die Hoffnung aufgeben, auch mit der grössten Verbesserung unserer Mikroskope jemals mit leiblichem Auge in die vom geistigen aufgestellte Constitution der Materie einzudringen."

Was die Frage nach der praktischen Möglichkeit betrifft, vgl. Helmholtz, Ueber die Grenzen der Leistungsfähigkeit der Mikroskope. Monatsber. d. Kgl. Preuss. Akad. d. Wiss. zu Berlin. 1874. S. 625. „Nennt man α den Winkel, den die äussersten Strahlen des von den Axenpunkten des Objects in das Instrument fallenden und dieses ganz durchlaufenden Strahlenbündels bei ihrem Ausgangspunkte mit der Axe bilden, λ die Wellenlänge des Lichts in dem Medium, worin das Object liegt, ε die Grösse der kleinsten erkennbaren Distanz am Object, so ist diese $\varepsilon = \frac{\lambda}{2 \sin \alpha}$. Gehen die Strahlen durch eine zur Axe senkrechte Fläche in Luft über und bezeichnet man die auf Luft bezogenen Werthe von λ und α mit λ_0 und α_0, so kann man auch schreiben $\varepsilon = \frac{\lambda_0}{2 \sin \alpha_0}$. Unsere neuen Immensionsmikroskope machen α_0 nahe gleich einem Rechten, dann wird ε gleich der halben Wellenlänge des gebrauchten Lichts. Für mittleres grün-

gelbes Licht von grösster Helligkeit kann man setzen $\lambda = 0{,}00055$ mm, $\varepsilon = 0{,}000275 = \frac{1}{3636}$ war.

Die zuverlässigsten neueren Messungen, namentlich die an solchen Objectiven, welche wirklich einen breiten Lichtkegel geben, angestellten, ergaben Zahlen $\left(\frac{1}{3312}\right.$ Harting$\left.\right)$, die nicht viel grösser sind, als jene."
Dem steht gegenüber die Schätzung der Grösse der Moleküle auf S. 41, Anm. und Zusätze 36.

4. S. 8. *Gleichen anziehenden Kräften:*

Vgl. J. v. Liebig, Untersuchungen über einige Ursachen der Säftebewegung im thierischen Organismus. Braunschweig 1848. S. 33: „Dieser Process (die Stahlbildung) hat nur dann eine Grenze, wenn alle einzelnen Schichten einerlei Mengen Kohlenstoff enthalten, das heisst, damit gesättigt sind."

5. S. 8. *Harten Stahl:*

Bei einer gewissen Proportion zwischen Eisen und Kohlenstoff, wie sie den Stahl charakterisirt, zeigt das Metall Härtbarkeit, d. h. es hat die Eigenschaft, bei plötzlicher Abkühlung sehr hart zu werden, wobei zugleich das specifische Gewicht abnimmt (von 1,000 bis zu 0,960, woraus sich eine Volumzunahme von bis zu 4,16 pCt. ergiebt). Karmarsch, Handbuch der mechanischen Technologie. 1875. Bd. I. S. 9. Im Texte steht, dem Sprachgebrauch entsprechend, harter und weicher Stahl für Stahl von grösserer und geringerer Härtbarkeit.

6. S. 8. *Bildung von hartem Stahl:*

Vgl. E. Mitscherlich: Lehrbuch der Chemie. IV. Auflage. Berlin 1847. Bd. II. S. 380: „Auf ähnliche Weise also, wie die Wärme sich in festen Körpern verbreitet, verbindet sich die Kohle mit dem Eisen, sodass zuerst

da, wo Kohle und Eisen mit einander in Berührung kommen, die Verbindung stattfindet."

Nach neueren Untersuchungen scheint es indessen, als trete der Kohlenstoff nicht unmittelbar, sondern durch Vermittlung stickstoffhaltiger Verbindungen (Cyaneisenkalium) in das Eisen über. Man hat beobachtet, dass die Anwendung von Thierkohle statt der Holzkohle oder die Vermengung des Kohlepulvers mit Asche, Kalk oder Kreide die Stahlbildung beschleunigt.

Wagner, Chemische Technologie. Elfte Aufl. 1880. S. 41. — Karmarsch, Handb. der mechan. Technologie. 1875. Bd. I. S. 27.

7. S. 10. *Ausgleichung von Wärme- oder Elektricitätsmengen:*

Durch das übereinstimmende Verhalten dieser anscheinend ganz verschiedenen Vorgänge erhält die kinetische Gastheorie, die zwischen ihnen Verwandtschaft nachweist, eine Bestätigung.

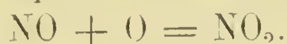
In der letzten Nachschrift findet sich folgende hierauf bezügliche Stelle: „Maxwell unterscheidet drei verschiedene Arten von Diffusion:

1. Diffusion des mechanischen Moments. Ein Gasstrahl, der durch eine ruhende Gasmasse hindurchgeht, setzt diese in Bewegung.
2. Diffusion der Molekularbewegung (Wärme). Die grössere lebendige Kraft der Moleküle verbreitet sich, bis an allen Stellen die gleiche Bewegung stattfindet, d. h. bis zum Temperaturgleichgewicht.
3. Diffusion der Materie, die eigentliche Diffusion."

Vgl. hierüber Maxwell. On the Dynamical Theory of Gases. Philos. Transact. Royal Soc. 157. Jg. 1867. London 1868. S. 49. — Vgl. ferner: Müller-Pouillet's Lehrb. der Physik. 1898. II. S. 589. „§ 140. Diffusion der Materie, des Moments, und der Energie."

8. S. 10. *Chemische Einwirkungen:*

Man kann sich ihrer aber mit Vortheil bedienen, um ein Reagens für das Vordringen der Substanzen zu haben. So verräth sich die Ausscheidung des farblosen Stickstoffdioxyds (NO) bei Gegenwart von Sauerstoff durch das Entstehen rother Dämpfe von Untersalpetersäure:



$$NO + O = NO_2.$$

Ammoniakgas, das in einen Luftraum diffundirt, wird dem Auge sogleich erkennbar, wenn man der Luft Chlorwasserstoffgas beimengt, das, mit dem Ammoniak verbunden, Salmiaknebel erzeugt:



$$NH_3 + HCl = NH_4Cl.$$

Der Nebel entsteht nach R. v. Helmholtz (Wiedemann's Ann., N. F., 27, 1886, S. 508) nur in staubhaltiger, nicht in „optisch reiner" Luft. (Ueber den Begriff der optisch reinen Luft vgl. Tyndall, Fragments of Science, 7. Aufl., London 1871, XI, On Dust and Disease [Vortr. i. d. R. Institution, 21. 1. 1870], p. 292.)

9. S. 11. *Berechnung der Höhe der Drucksäule:*

Die Formel für die Ausströmungsgeschwindigkeit ist dieselbe wie für den freien Fall, nämlich

$$v = \sqrt{2\,g\,h}$$

wo v die Ausströmungsgeschwindigkeit,
g die Beschleunigung durch die Erdschwere,
h die Höhe der Drucksäule.

Die Geschwindigkeit, mit der die atmosphärische Luft durch eine Oeffnung ins Vacuum eintritt, lässt sich folgendermaassen berechnen: Es sei

b die Höhe,
δ die Dichte des Quecksilbers im Barometer,
d die Dichte der atmosphärischen Luft,

so ist die Höhe der Drucksäule h, die dem Barometerstand entspricht (gleichförmige Dichtigkeit der Luft vorausgesetzt), zu berechnen aus der Gleichung

$$h : b = \delta : d, \text{ folglich}$$

$$h = \frac{b\,\delta}{d}.$$

Also ist $v = \sqrt{\frac{2\,g\,.\,b\,.\,\delta}{d}}$ und da $b = 0{,}760$ m, $\delta = 13{,}59$, $d = 0{,}001293$, $g = 9{,}808$,

$$v = \sqrt{\frac{2\,.\,9{,}808\,.\,0{,}76\,.\,13{,}59}{0{,}001293}} = 396 \text{ m.}$$

Die Dichtigkeit der Gase ist nach dem MARIOTTE-schen Gesetz dem Drucke proportional. Daher ist in dem eben besprochenen Beispiel die Dichte der Luft, d. abhängig vom Barometerstande b. Man kann also setzen $d = c\,.\,b$, wo c eine Constante bedeutet. Dann ist $\frac{b}{d} = \frac{1}{c}$, also auch $\frac{b}{d}$ constant. Die Geschwindigkeit, mit der die Luft ins Vacuum übertritt, ist also bei jedem Barometerstande dieselbe, oder, allgemein gesprochen, die Ausströmungsgeschwindigkeit von Gasen ist unabhängig vom Druck. — Wenn das Gas nicht in ein Vacuum, sondern in einen Raum übertritt, in welchem ein gewisser Druck herrscht, so muss in der obigen Rechnung an Stelle von b der Ausdruck $p' - p''$ treten, wo p' den Druck im Innern des Gefässes, p'' den Druck in dem Austrittsraum, in Quecksilberhöhen gemessen, bedeutet. Der Werth für d muss dann ebenfalls in $d = c\,(p' - p'')$ verändert werden. Da also das specifische Gewicht des Gases sich in gleichem Maasse ändert wie der Druck, so kommt immer die gleiche Ausflussgeschwindigkeit heraus.

10. S. 12. *Die letzten Antheile mit derselben Geschwindigkeit:*

Dies gilt streng nur bei gleichbleibender Temperatur. Beim Ausströmen eines Gases wird aber Arbeit geleistet, Wärme verbraucht. * Man kann die Temperaturabnahme beim Versuch mittelst Thermosäule nachweisen. *

Für Gebläse, in denen die Luft dauernd unter demselben Druck ausströmt, gilt folgende Gleichung: Es sei q der Querschnitt der Oeffnung, M die in der Zeit t Sec. ausfliessende Menge, so ist $M = q \cdot t \sqrt{2\, g \frac{\delta}{d} (p' - p'')}$.

11. S. 12. *Verschiedene Gase:*

Ist wie oben die Dichte der Luft $= d$, des Quecksilbers $= \delta$, die Höhe der Barometersäule b, so ist die Höhe der Luftdrucksäule $h = \frac{b\,\delta}{d}$. Für ein anderes Gas ist die entsprechende Formel $h = \frac{b\,\delta}{d'}$, wonach die Ausflussgeschwindigkeit $v = \sqrt{2\, g \frac{b\,\delta}{d'}}$. Demnach verhalten sich die Ausflussgeschwindigkeiten zweier verschiedener Gase nach der Gleichung

$$v : v' = c \sqrt{\frac{1}{d}} : c \sqrt{\frac{1}{d'}}$$

wie die Quadratwurzeln aus den reciproken Werthen der Dichtigkeiten. Hierauf gründet sich die elegante von Bunsen angegebene Methode, die Dichte, also das Molekulargewicht von Gasen ohne Wägung und mit geringem Verbrauch zu bestimmen. Gasometrische Methoden, II. Aufl. 1877. S. 184—191.

Die experimentelle Bestätigung des Gesetzes siehe bei Graham, On the motion of gases, Phil. Transact. of the Royal Soc., 1846, IV, S. 573, wo der Satz auch auf ein und dasselbe Gas bei verschiedenen Temperaturen ausgedehnt ist.

12. S. 12. *Aussendruck gleich dem Innendruck:*

Nach der Berechnung in Anm. u. Zusätze 8 ist die Formel für die Ausflussgeschwindigkeit

$$v = \sqrt{2\,g\,\frac{b\,\delta}{d} \cdot \frac{(p' - p'')}{p'}}$$

wird nun $p' = p''$, so wird $v = 0$, also hört die Bewegung auf.

13. S. 12. *Erfahrungscoëfficient:*

Vgl. Pogg. Ann. 10. 1827. S. 268. „Im Julius 1826 machte Hr. d'Aubuisson (Ingenieur en chef au Corps royal des Mines) einige Versuche bekannt über das Ausströmen der atmosphärischen Luft, die in einem Gasometer comprimirt war. Er fand, dass die Luftmenge, welche unter einem bestimmten Drucke durch eine Oeffnung in dünner Wand aus dem Gasometer getrieben wurde, zu derjenigen, welche unter demselben Drucke durch Ansatzröhren floss, deren Mündungen einen gleichen Durchmesser wie die Oeffnung in dünner Wand besassen, in dem Verhältnisse von 1000 zu 1427 stand."

d'Aubuisson, Annales de Chimie et de Physique, 32, p. 327, giebt folgende Zahlen:

	Dünne Wand	Cylinder	Conus
Luft	0,649	0,926	0,928
Wasser	0,62	0,82	0,85—95

Ferner Zahlenergebnisse über Luft-Effusion mit cylindrischen Ansätzen verschiedener Länge und verjüngten Ansätzen verschiedener Gestalt.

Müller-Pouillet's Lehrb. d. Physik u. Meteorologie. Neunte Auflage. Braunschweig 1886. I. S. 567. —

„Für Wasser ist bekanntlich dieser Factor 0,64 und ist fast ganz unabhängig von der Druckhöhe, indem er nur sehr unbedeutend wächst, wenn die Druckhöhe abnimmt. Für Gase aber ist der Werth von μ sehr veränderlich. Nach Schmidt, welcher diesen Gegenstand zuerst einer genaueren Untersuchung unterworfen hat, ist μ bei einer Druckhöhe von 1 m Wasser gleich 0,52. Nach d'Aubuisson's Versuch ist innerhalb der Druckhöhen 3 bis 15 cm der Werth von $\mu = 0{,}65$ zu setzen."

14. S. 13. *Saugwirkung:*

Vgl. G. G. Schmidt (Prof. der Math. und Phys. zu Giessen), Pogg. Ann. 2. 1824. S. 39. Bemerkungen zu der Schrift: Versuche und Beobachtungen über die Geschwindigkeit und Quantität verdichteter atmosphärischer Luft, welche aus Oeffnungen von verschiedener Construction und durch Röhren ausströmt. Von F. K. L. Koch, Eisenhüttengehülfen zur Königshütte am Harz. Göttingen 1824. Und: Schmidt's Versuche in Gilbert's Ann. 66. S. 39. Ausfliessende Luftmengen, bezogen auf den theoretischen Werth 1000 für Oeffnungen in:

	dünner Platte	kurzem Cylinder	Conus
Koch	750	930	1084
Schmidt	750	909	1010.

15. S. 16. *In den hohen Schichten — mehr Kohlensäure:*

Vgl. Adolph Schlagintweit, Ueber die Menge der Kohlensäure in den höheren Schichten der Atmosphäre. Pogg. Ann. 87 (163). 1852. S. 293. S. 303: Für Höhen zwischen 9700 und 13000 P. F. 7,7 im Mittel. „Die Maxima von 9—9,5 (: 10000) traten im Allgemeinen bei schönem heiteren Wetter ein. Der Kohlensäuregehalt der Atmosphäre wurde hingegen weit geringer und sank im Minimum auf 5,94 Volumtheile Kohlensäure in 10000 Theilen Luft herab, wenn der Beobachtungspunkt von dichten Wolken umhüllt war."

Die Beobachtungsorte waren:

1. St. Jean de Gressoney in Piemont . . . 1340 m
1. Zermatt . . . . 1652 „
1. Bodemie, Piemont . . . . 1925 „
8. Vincenthütte am Monte Rosa . . . . . . 3162 „
1. Theodulpass oder Matterjoch . . . . . . 3352 „
1. Vincentpyramide . . . . 4224 „

Vgl. ferner: Th. de Saussure, Mémoire sur les variations de l'acide carbonique atmosphérique. Mém. de la

Soc. de phys. et d'hist. nat. de Genève. T. IV. 1828. p. 407. — Lewy, Ann. de chimie. 3. série. T. XXXIV. 1852. p. 5. Waldbrände: „Lewy fand auf dem Hochlande von Bogota in den Monaten März-Juli 3—4 Volume Kohlensäure auf 10000 Volume Luft, in den Monaten August-September dagegen 49 Volume Kohlensäure. Diese auffallende Zunahme sollte durch Thätigkeit der Vulkane veranlasst, vor Allem aber die Folge grosser Brände gewesen sein, welche in der Ebene zur Urbarmachung des Landes angelegt waren.“ M. Krüger im Real-Lexicon der Medicin. Propädeutik. Von J. Gad. Wien u. Leipzig 1895. II. S. 1550.

Dass die in neuerer Zeit häufig wiederholten Analysen der Höhenluft den besprochenen Befund nicht bestätigen, beweist schon der Umstand, dass Mosso die Bergkrankheit auf Mangel an Kohlensäure im Blute zurückführen will. (Der Mensch auf den Hochalpen. Leipzig 1898.)

Das Verhältniss von Sauerstoff und Stickstoff in der Atmosphäre ist aber auch nach den neueren Bestimmungen als constant zu betrachten, die Schwankungen des Sauerstoffgehalts übersteigen nicht 0,1 Volumprocent. Versuche von Leduc, Comptes rendus, 123, 1897, ergaben:

	N_2	O_2	Argon
Volum	78,06	21,00	0,94
Gewicht . . .	75,5	23,2	1,3.

16. S. 17. *Dalton:*

In der Handschrift steht: *Berthollet's Versuch. von Wüllner Dalton (Gilb. 27) zugeschrieben* und am Rande: *Frankenheim S. 25.* Wüllner (Lehrbuch der Experimentalphysik. Leipzig 1866. I. S. 352) schreibt ausdrücklich: „Der erste, welcher diese Vermischung verschiedener Gase nachwies, war Dalton“, und citirt als Beleg Gilbert's Referat (Gilbert's Annalen. 27. 1807. S. 388), wo der Versuch beschrieben ist, als wenn er von Dalton zuerst angestellt worden sei. Dalton selbst in

seiner Arbeit: „On the tendency of elastic fluids to diffusion through each other" (Memoirs of the Litterary and Philosophical Society of Manchester. N. S. Vol. I. 1805) beschreibt ebenfalls den Versuch (sogar mit ausführlicher Fragestellung) wie einen neuen, obschon er in seiner Arbeit: „On the Proportion of the several Gases in the Atmosphere" (ibidem) BERTHOLLET's Angaben (in Annales de Chimie. T. 34. p. 85) citirt. Auch FRANKENHEIM (Die Lehre von der Cohäsion. Breslau 1835. S. 25) führt DALTON als den Urheber des Versuchs an, und setzt hinzu: „ähnliche Beobachtungen haben BERTHOLLET u. A. angestellt". Dazu führt er in seinem Literaturnachweis BERTHOLLET mit Memoirs d'Arcueil, II., p. 403, an, und über diese Arbeit ist in Pogg. Ann., 17. (93.), 1829, S. 341, zu lesen: „BERTHOLLET unternahm seine Versuche in Folge des von DALTON aufgestellten und mit so vielem Glücke auf die Hygrometrie übertragenen Satzes, dass die Gase sich gleichförmig unter einander vermischen." Es scheint demnach, als gehöre der Versuch DALTON an.

17. S. 17. *Austausch*:

Um die Diffusion unmittelbar sichtbar zu machen, kann man (nach MAXWELL, Pop. Sc. 1870. XXI.) den Versuch mit Chlorgas anstellen, das durch seine Farbe erkennbar ist. Aetherdampf bildet, ehe er sich mit Luft mischt, sichtbare Schlieren, ähnlich denen, die beim Mischen von Wasser und Wein entstehen. Wie schon in Anm. u. Zusätze unter 8. angegeben, kann man sich auch solcher Gase bedienen, bei deren Vermischung eine sichtbare Reaction eintritt.

18. S. 19. *Upasthal auf Java:*

Hier findet sich die Bemerkung: *Nach JAGOR höchst übertrieben*, die sich vermuthlich auf mündliche Mittheilung bezieht. Auch JUNGHUHN (Java, seine Gestalt und Pflanzendecke. 1852. I. S. 201. III. S. 854, 858) wendet

sich gegen übertriebene Vorstellungen, obschon seine eigenen Angaben mit der im Text gegebenen Schilderung garnicht unvereinbar sind: Das sogenannte „Todesthal", „Pakaraman", ist ein Loch, das oben 30, unten 15 m breit ist, von dem nur ein Centralfleckchen von 5 m Durchmesser von Kohlensäure bedeckt ist, die eine Schicht von höchstens 70 cm Tiefe bildet. Im Juni 1838 war gar keine Kohlensäure darin, da ein Hund an einem malayischen Leichnam, der mitten auf der Stelle lag, länger als eine Viertelstunde ohne Beschwerden herumschnupperte. Im März 1840 dagegen dürfte eine Kohlensäureschicht vorhanden gewesen sein, denn ein Hund, den Junghuhn mitgebracht hatte, erstickte, während Junghuhn selbst aufrecht auf der Stelle umhergehen konnte. 1845 war wiederum, selbst in den Rissen und Spalten des Bodens keine Kohlensäure zu spüren. Aber es lagen auf dem Centralflecke, umhüpft von Raben, die Cadaver von sechs wilden Schweinen. Auch todte Hirsche, Tiger und Vögel sollen häufig aufgefunden worden sein. — Nimmt man an, dass sogar die menschliche Leiche, von der Junghuhn berichtet, durch die Kohlensäure vergiftet war, so kann man die von Junghuhn verspotteten Angaben doch nicht ganz ungerechtfertigt finden.

Junghuhn citirt ferner: New Philos. Journ. Edinb. 1830. 23. p. 102. Java Courier. 30. Sept. 1830, endlich Tijdschr. v. Neerl. Ind. II. 1839. S. 244.

19. S. 22. *Bunsen:*

Bei Anwendung eines Gipspfropfens als Scheidewand findet keine specifische Anziehung der Gase durch die Porenwandungen statt, es tritt keine Absorption auf, sondern nur einfache Füllung der Hohlräume mit den durchströmenden Gasen. Die diffundirenden Gasmengen behaupten während der Diffusion dasselbe Verhältniss, trotzdem anfänglich reine Gase, später Gasgemische auf beiden Seiten der Scheidewand stehen. Dies beruht dar-

auf, dass die Diffusionsgeschwindigkeiten annähernd den Partialdruckdifferenzen proportional sind.

Für solche Fälle, wo die Verbrennung von Gasgemischen nicht eindeutige Ergebnisse liefert, kann die Diffusion durch trockne Scheidewände (ebenso wie die Absorption) als analytische Methode verwendet werden. Vgl. Bunsen, Gasometrische Methoden. Braunschweig 1877. S. 267.

20. S. 23. *Jamin:*

Pogg. Ann. 99., 1856, S. 327 und Comptes rendus, 67, S. 234, ist der Versuch beschrieben. In der Handschrift zur Vorlesung ist dazu bemerkt: »Schülerhafte Arbeit, scheint Graham nicht zu kennen und verwechselt die trockne und feuchte Aërodiffusion.« Weiterhin: »Das dritte Rohr habe ich hinzufügen müssen, weil die Flüssigkeit in die Zelle zu steigen drohte.« Endlich: »Jamin sagt, man solle die Thonzelle mit Alkohol auswaschen und sie mit Guttaperchalösung (Schwefelkohlenstoff) oder Collodium überziehen. Ist, wie ich finde, garnicht nöthig.«

21. S. 25. *Ansell:*

»Jetzt aber hat Guido Körner Thermometer, mit Platinschwamm und einem Platinnetz umgeben, zum gleichen Zwecke verwendet. Die Erhitzung des Platinschwamms zeigt (empirisch) den Gehalt der Luft an schlagenden Wettern an.«

Auch dieser Apparat, sowie eine Lampe von Körner, die die schlagenden Wetter ohne Gefahr verzehren sollte, ist nicht im praktischen Gebrauch, vielmehr bedient man sich, um die Schlagwetter zu erkennen, und ihren Procentsatz abzuschätzen, einer besonders construirten Sicherheitslaterne, der Pieler'schen Lampe. Vgl. über Ansell's Apparat: Berg- u. Hüttenmännische Zeitung. 1866. S. 216 u. Oesterreich. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenwesen. 1868. S. 173. Ferner: G. Köhler, Lehrbuch der Bergbaukunde.

2. Aufl. Leipzig 1887. S. 684. Ueber die PIELER'sche Lampe siehe: Preussische Zeitschr. f. Berg-, Hütten- und Salinenwesen. Bd. 30. 1882. S. 252.

22. S. 25. *Mitchell:*

Vgl. Pogg. Ann. 28. (104.) 1833. S. 331. In einer Anmerkung ist von der Arbeit MITCHELL's die Rede: MITCHELL (Lehrer der Chemie am Medical Institute zu Philadelphia) on the penetrativeness of Fluids. Journal of the Royal Institution. No. IV. S. 101. No. V. S. 307. Gas, durch Kautschuk dringend, treibt eine Quecksilbersäule drei und dreissig Zoll hoch. Zum im Text beschriebenen Versuch findet sich in der Handschrift bemerkt: *mir nie geglückt.*

23. S. 25. *Schweflige Säure:*

Man bewahrt die schweflige Säure zweckmässig in flüssigem Zustande in einer mit einem Hahn verschlossenen Champagnerflasche (Druck bei Zimmertemperatur etwa 2 Atmosphären), die im Laboratorium sehr nützlich ist, um schnell sehr bedeutende Kältegrade (— 25°) erzeugen zu können. Nach RAOUL PICTET's Angaben. Vgl. Berichte der Pharmaceutischen Gesellschaft. Berlin 1891.

24. S. 26. *St. Claire Deville:*

Beschreibung des Versuchs: Comptes rendus. Bd. 52. S. 524. Bd. 57. 1863. S. 985. Bd. 59. 1864. S. 102. Pogg. Ann. 1864. Der zweite Versuch mit der Röhre *lehrt im Grunde nicht mehr als der Versuch mit der Bombe.*

Comptes rendus. Bd. 59. 1864. S. 102. *La porosité ici résulte de la dilatation que la chaleur fait éprouver aux espaces intermoléculaires.*

25. S. 27. *Wasserstoffgas entweicht:*

Ebenso hat Kohlenoxyd die Fähigkeit, durch glühen-

des Eisen hindurchzudringen, und nach *MORIN, Annales du Conservatoire des Arts et Métiers* ist deshalb die Benutzung gusseiserner Oefen als gefährlich anzusehen. Neuere Arbeiten haben jedoch gezeigt, dass diese Besorgniss übertrieben ist. Vgl. WOLFFHÜGEL, Kohlenoxyd und gusseiserne Oefen. Zeitschr. f. Biologie. 1876. XII.

26. S. 27. *Elihu Root:*

Vgl. Monatsberichte der Berliner Academie. 1876. S. 216.

Nach PFAFF und DE LA RIVE sind die ausserhalb der Flüssigkeit befindlichen Stücke von polarisirten Platindrähten auch polarisirt, FECHNER-BIOT. III. S. 225.

27. S. 28. *Meteoreisen:*

Vgl. GRAHAM, On the Occlusion of Hydrogen Gas by Meteoric Iron. Proceedings of the Royal Society. 15. 1867. S. 502. GRAHAM's Befund ist wiederholt bestätigt worden. In der Handschrift findet sich darüber folgende Aufstellung:

	GRAHAM	MALLET	WRIGHT	
	Lenarto	Augusta	Tennessee	Arva
H	85,68	35,83	71,04	40,60
CO	4,46	38,33	15,03	38,70
CO_2	—	9,75	—	—
N	9,86	16,09	13,03	18,18
	100,00	100,00	99,10	97,48

Vgl. American Journal of Science. (3.) 11. u. 12.

Von neueren Arbeiten vgl. Zeitschr. f. physikal. Chemie, 17, S. 1 und 26. S. 109, wo die Wasserstoffabsorption von Palladiumfolie zu 846, die von Palladiummohr zu 873 Raumtheilen angegeben wird. Entgegen der Angabe im Text nimmt Palladiummohr auch Sauerstoff, sogar bis zu 1000 Raumtheilen auf, und oxydirt sich dabei zu PdO.

28. S. 30. *Chitin:*

Das Chitin ist zuerst aufgefunden und so benannt worden von Odier im Jahre 1821 (Mem. de la Soc. d'hist. nat. de Paris. 1823. T. 1. p. 29).

* Es kann Tage lang mit der concentrirtesten alkalischen Lösung unverändert im Sieden erhalten werden. Dies ist die charakteristische Reaction. *

C. Schmidt, zur vergleichenden Physiologie der wirbellosen Thiere, Braunschweig 1845, giebt eine Analyse des

Chitins als . . . . $C_{17} H_{14} NO_{11}$
die er vergleicht mit der des Muskels $C_8 H_6 NO_3$
und als Differenz ein Kohlehydrat . $C_9 H_8 O_8$

findet, wozu die Handschrift die Bemerkung aufweist: * Spielerei natürlich. * Ferner findet sich am Rande: * Nach Burmeister's (?) Bemerkung entbehren die chitinführenden Thiere der Wimperbewegung. Merkwürdiges Zusammentreffen. Sie fehlt bei den Arachniden, Crustaceen und Insecten, ist aber vorhanden bei den Anneliden. Aus Schmidt erhellt nicht, ob bei den Anneliden Chitin vorkomme. * * Wie verhalten sich die Ringelwürmer? Sie haben kein Chitin und Burmeister's Bemerkung trifft demnach streng zu. Höchst merkwürdig. * * Trifft nicht zu. Chitin bei den Anneliden. * Auch * soll es nach Müller Infusorien mit Flimmerbewegung und Chitin geben. * Ferner finden sich eine Reihe von Angaben über den Stickstoffgehalt des Chitins und die dazugehörige Literatur.

29. S. 31. *Lungen der Wirbelthiere:*

In der ältesten Nachschrift findet sich hier folgende Stelle: „Man hat auf diesen Diffusionsprocess das eigenthümliche Factum zurückführen wollen, dass die Thiere mehr Sauerstoff aufnehmen, als sie Kohlensäure abgeben, während doch ein Volumen Kohlensäure gleich dem Volumen des darin enthaltenen Sauerstoffes ist. Nach dem Graham'schen Gesetz sollte die Kohlensäure durch die

feinen Bronchialröhren langsamer hindurchgehen als der Sauerstoff. Die Versuche von REGNAULT haben aber gezeigt, dass das Verhältniss von Sauerstoff zu Kohlensäure von der Ernährungsweise des Thieres abhängig, und auf ganz andere Weise zu deuten ist." — Vgl. hierüber DONDERS, Physiologie des Menschen. Leipzig 1856. I. S. 357 oder DONDERS, Holländ. Beiträge. Bd. I. S. 269.

Ferner ist in diesem Zusammenhang hingewiesen auf den angeblichen Sauerstoffreichthum des Eischalenraumes, und die von HÜFNER zurückgewiesene Absorptionshypothese von DULK. Vgl. hierüber S. 32 und HÜFNER's dort angeführte Arbeit.

30. S. 35. *Geschwindigkeiten:*

Die im Text aufgeführten Zahlen sind nach CLAUSIUS, Ueber die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen, Pogg. Ann. 100, 1857, S. 252, 372, und nach POUILLET-MÜLLER, Lehrb. d. Experimentalphysik, Braunschweig 1898, II. II., S. 586:

für Sauerstoff . . . . 461 m
" Wasserstoff . . . 1844 "

dagegen giebt die Handschrift:

für Sauerstoff . . . . 465 m
" Wasserstoff . . . 1859 "

Vgl. ferner CLAUSIUS in Pogg. Ann. 105. 1858. S. 259 und 108. 1859. 1862.

Auch die Textangabe über die mittlere Weglänge und Zahl der Zusammenstösse für Wasserstoff weicht von den Zahlen in POUILLET-MÜLLER's Lehrbuch, II. II., S. 586, ab: „Weglänge 0,000185 mm, Millionen Zusammenstösse 9480".

31. S. 38. *Zu Einem Stück:*

* BRAYLEY, POUILLET, CLEMENT und DESORMES. * Nach Fortschr. d. Physik. 16. 1863. S. 347. BRAYLEY, Notes on the apparent universality of a principle analogous to

regelation, on the physical nature of glass and on the probable existence of water in a state corresponding to that of glass. Proceedings of the Royal Society. 10. 450—460. Hier möge auch eine Mittheilung aus neuerer Zeit erwähnt werden: W. Spring, Ueber das Vorkommen gewisser für den flüssigen oder Gas-Zustand charakteristischer Eigenschaften bei festen Körpern. Zeitschrift für physikalische Chemie. 15. 1894. S. 65 und Beiblätter zu den Annalen der Physik. 1895. S. 161. Metallene Blöcke mit vollkommen ebenen Flächen bei gelinder Erwärmung zusammengepresst, vereinigten sich zu Einem Stück. Diese Erscheinung kann, im Widerspruche zu der Angabe auf S. 7 unten, als Diffusion fester Körper in einander aufgefasst werden.

32. S. 39. *Condensirten Atmosphäre:*

Mitscherlich erwähnt in seinem Aufsatz „über die chemische Zersetzung und Verbindung mittelst Contactsubstanzen“, Pogg. Ann. 55 (131), 1833, S. 205 u. 218, Beobachtungen von Fusinieri über die Gasblasen, die beim Auskochen von Barometerröhren im Quecksilber auftreten. Diese Blasen rühren von der am Glase haftenden condensirten Gasschicht her.

Wo von der Menge des absorbirten Gases die Rede ist, enthält die Handschrift den Zusatz: *Nach Quincke proportional der Dichte?* Vgl. hierüber Pogg. 108. 1859. S. 326. Quincke, Ueber die Verdichtung von Gasen und Dämpfen auf der Oberfläche fester Körper. Auch der Druck hat wesentlichen Einfluss auf die absorbirte Gasmenge. Wiedemann's Ann. 12. 1881. S. 161.

33. S. 39. *Schweflige Säure:*

Vgl. Hofmann, Gustav Magnus, Vortrag i. d. Deutsch. chem. Gesellsch. 14. Dec. 1870 u. Zur Erinnerung an vorangegangene Freunde. I. S. 144: „Schon öfter ist die

Frage aufgeworfen worden, in wie weit die Verdichtung der Gase an der Oberfläche des Glases einen Einfluss auf die Verschiedenheit der beobachteten Ausdehnungscoëfficienten haben könnte. Auch MAGNUS hat sich mit dieser Frage beschäftigt." S. auch Pogg. Ann. 89. 1853.

34. S. 40. *Kohlensäure verflüssigt:*

Vgl. THILORIER: Ann. de chimie et de physique. 60. 1835. 427. Die flüssige Kohlensäure hat übrigens einen ausnehmend hohen Ausdehnungscoëfficienten. 4 mal höher als der der Luft, denn während sich Luft beim Erwärmen von 0—30° um 0,109 ihres Volums ausdehnt, dehnt sich flüssige Kohlensäure unter gleichen Umständen um 0,423 ihres Volums aus. Diese Eigenschaft benutzte SIMMLER, Ueber die in krystallisirten Mineralien beobachteten Flüssigkeiten, Jahresberichte über die Fortschritte der Chemie, Physik und Mineralogie, 1858, S. 675, und Pogg. Ann. 105, S. 406, um die in den Höhlen von Amethystkrystallen eingeschlossene „BREWSTER'sche Flüssigkeit" als Kohlensäure zu bestimmen.

35. S. 40. *Platinmohr:*

In der Handschrift ist auf MITSCHERLICH in Pogg. Ann. 55, 1833, S. 212, mit den Worten verwiesen * Grund der Schwärze des Platinmohrs. * Dies bezieht sich offenbar auf die optischen Eigenschaften sehr kleiner Theilchen, da MITSCHERLICH die Farbe nicht erwähnt. Vgl. auch Anm. u. Zusätze 3 u. 36. * MAGNUS fällt das Chlorid mit Kalilauge und wäscht das Chlorkalium aus. *

Vgl. Zeitschr. f. physikal. Chemie. 19. 1896. S. 25. Platinmohr wird am reinsten dargestellt durch Fällen einer Lösung von Natriumplatinchlorid mit einer verdünnten Natriumformiatlösung dar. Er enthält dann stets etwas Sauerstoff und kann noch 100 Raumtheile absorbiren. Die im Text gegebene Zahl ist falsch.

36. S. 41. *Berechnung der Oberfläche:*

Das angeführte Resultat gilt für Kugeln, die in regelmässigen Schichten so angeordnet sind, dass die Pole aufeinanderfallen. In jeder anderen Lage würde die Oberfläche im gleichen Volum noch grösser.

W. Thomson und P. G. Tait (Treatise on Natural Philosophy, Vol. II, App. F, und Nature, März 1870) geben eine Zusammenstellung verschiedener Betrachtungen, aus denen auf die Grösse der Moleküle geschlossen werden kann. Von diesen kann die erste etwa folgendermaassen wiedergegeben werden: Reines Wasser erscheint nicht mehr als homogenes Medium, wenn Mengen in Betracht gezogen werden, deren Dimensionen nur kleine Bruchtheile der Wellenlänge des Lichts darstellen. Die Moleküle eines gleichmässig durchsichtigen Körpers müssen daher $> {}^1/_{10\,000}\,\lambda$ oder $> {}^1/_{20\,000\,000}$ mm sein.

Die zweite Betrachtung geht davon aus, dass Platten von Kupfer und Zink durch ihre gegenseitige Attraction der Verschiebung zwischen einander Widerstand leisten. Werden sie dennoch zwischen einander geschoben, so müssen sie sich erwärmen. Man kann nun den Grad der Erwärmung berechnen, der beim Ineinanderschieben von zwei Bündeln sehr dünner Platten entstehen müsste. Wenn die Metalle in molekulare Mischung eintreten, wird nicht einmal soviel Wärme erzeugt, als wenn man sie als Platten von ${}^1/_{300\,000\,000}$ cm zwischen einander geschoben denkt. Mithin ist man hier schon an der Grenze, wo die Platten nur aus einer Schicht einzelner Moleküle bestehen.

Aus der ganzen Darstellung geht hervor, dass die Grösse der Moleküle zwischen ${}^1/_{10}$ und ${}^1/_{20}$ Mikromillimeter liegen muss. „Würde ein erbsengrosser Regentropfen auf die Grösse der Erdkugel vergrössert, so würden seine einzelnen Moleküle zwar grösser als Schrotkörner, aber kleiner als Aepfel erscheinen.“

J. Loschmidt, Zur Grösse der Luftmoleküle, Wiener

Sitzungsberichte, 72, 1865, Math. nat., Cl. II, S. 395, kommt zu einem analogen Ergebniss.

37. S. 41. *Beliebige Mengen:*

Hier findet sich in der Handschrift die Bemerkung: * durch Condensation an den negativen Metallen erzeugte katalytische Wirkung. *

38. S. 44. *Gerüche der umgebenden Luft:*

Die angeführte Thatsache musste vor der Entdeckung der organisirten Krankheitserreger für die Lehre vom „Contagium" von grosser Bedeutung sein. Vgl. Frankenheim, Die Lehre von der Cohäsion, Breslau 1835, S. 184: „Man hat in neueren Zeiten die früher herrschende Ansicht von dem Verschleppen von Krankheitsstoffen durch Kleidungsstücke, Federn u. dergl. lächerlich zu machen gesucht. Dieser Spott ist ungegründet. Denn ein Aufnehmen und Fortführen eines materiellen Krankheitsstoffes stimmt mit den Gesetzen der Physik nicht nur vollkommen überein, sondern hat auch die Analogie anderer Stoffe für sich. Wenn ein Krankheitsstoff als Dampf oder Gas existirt, so muss er sogar adsorbirt werden und kann, wenn er wieder frei wird, Wirkungen hervorbringen, die sich von den ursprünglichen nur durch ihre Intensität unterscheiden. Ob diese Art von Fortpflanzung in der Cholera oder Pest oder den Pocken wirklich stattfindet, kann ich nicht entscheiden. Dies ist Sache der Aerzte. Allein die Art, wie diese Frage vor einigen Jahren unter den günstigsten Umständen behandelt wurde, und die Argumente, welche man für und gegen die Ansteckungsfähigkeit der porösen Stoffe angeführt hat, können bei denen, welche an die Strenge der Beobachtungen in der Physik und Chemie gewöhnt sind, wohl von dem Muthe der Aerzte eine günstige Meinung erwecken, aber nur eine sehr ungünstige von der Zuverlässigkeit der Beobachtung in der Medicin."

39. S. 44. *Stenhouse:*

J. Stenhouse, Ueber die entfärbenden und desinficirenden Eigenschaften der Holzkohle, nebst Beschreibung eines Kohlerespirators zur Reinigung der Luft durch Filtration. Liebig's Annalen der Chemie und Pharmacie. 90. 1854. S. 186. Stenhouse war durch Turnbull auf die Eigenschaften des Kohlepulvers aufmerksam gemacht worden. Er beschreibt die erwähnten Versuche, und die Construction eines Respirators, der beim Aufenthalt in staubiger, vor allem aber keimhaltiger Luft gebraucht werden soll. Er schlägt sogar vor, ganze Häuser durch Kohlepulver gegen Malaria zu sichern.

Bekanntlich hat sein Verfahren in neuerer Zeit in den sogenannten „Torfstreu-Closets" ausgedehnte praktische Anwendung gefunden.

40. S. 45. *Benjamin Franklin:*

Vgl. Franklin, On the stilling of waves by means of oil. Philos. Transact. of the Royal Society. 1774. Die Geschichte vom Spazierstock stammt aus einem Briefe Franklin's an Dr. Brownring vom 7. November 1773, den Paul du Bois-Reymond in Pogg. Ann. 104, S. 193, wiedergiebt. Thatsächlich hat sich die Stillung der Wellen durch Oel jetzt zu praktischem Gebrauch eingebürgert. In der Handschrift stehen im Zusammenhange mit der Wellenstillung die Worte: *Polarisation von Quecksilber.* Bei den Wasserwellen, ebenso wie beim Quecksilber dürfte das Phänomen der Glättung vornehmlich auf Rechnung der Zunahme der Oberflächenspannung zu setzen sein. Vgl. hierüber W. Thomson, Hydrokinetic Solutions and Observations. Philos. Mag. Nov. 1871.

41. S. 47. *Absorption von Ammoniakgas:*

A. W. v. Hofmann gab diesem Versuche die elegante Form, dass er gleichzeitig zwei Kolben mit mehr als meterlangem Halse, von denen der eine mit Chlorwasser-

stoff, der andere mit Ammoniakgas gefüllt war, in mit Lakmus gefärbtes Wasser tauchte. Der durch die Absorption entstehende Springbrunnen zeigt dann in dem einen Kolben hellrothe, in dem anderen strahlend blaue Farbe.

42. S. 48. *Absorptiometer:*

Um das Volum eines Gases auf Null Grad zu reduciren, hat man die Gleichung anzuwenden:

$$V_t : V_o = (1 + 0{,}00367\ t) : 1$$

$$V_o\ (1 + 0{,}00367\ t) = V_t$$

$$V_o = \frac{V_t}{1 + 0{,}00367\ t}.$$

Gay Lussac hatte für alle Gase den Ausdehnungscoëfficienten 0,00375 angegeben. Rudberg 1838 zuest 0,00364, Magnus 0,00366, aber verschieden bei verschiedenen Gasen. Regnault fand gleichzeitig 0,00366, aber bei allen Gasen gleich. Später gab er zu, dass für SO_2 0,00389 gelte, vermuthlich getäuscht durch Oberflächenanziehung des Glases.

(Die Constanz des Ausdehnungscoëfficienten bei verschiedener Temperatur innerhalb gewisser Grenzen bedingt lineare Form der Ausdehnungscurve. Daher die Möglichkeit, sich des Luftthermometers zu bedienen.)

Um das Volum auf den barometrischen Normaldruck zu reduciren, hat man $V.P = V_x\ 0{,}76$ (nach dem Boyle-Mariotte'schen Gesetz) $V_x = \frac{V.P}{0{,}76}$.

Eine Gasmenge habe bei t^0 und P mm Druck das Volum V_t, was ist ihr reducirtes Volum V_x bei 0^0 und 0,76 mm? α = Ausdehnungscoëfficient für $1^0 = 0{,}00367$ (im Allgemeinen):

$$V_t : V_o = 1 + \alpha t : 1$$

$$V_o = \frac{V_t}{1 + \alpha t}$$

$$V_x \,.\, 0{,}76 = V_o\ P$$

$$x = \frac{V_t}{1 + \alpha t} \cdot \frac{P}{0,76}.$$

Es seien V′, P′ die Anfangs-, V, P die Endgrössen. Man bestimmt V′P′ — V P und reducirt auf 0,76 Druck

$$\frac{V'P' - VP}{0,76} = Q,$$

Q ist die reducirte absorbirte Menge.

Ist H die angewendete Wassermenge, so hat man nach dem Dalton-Henry-Bunsen'schen Gesetze

$$Q = \frac{\alpha \,.\, P \,.\, H \,.}{0,76 \,.}$$

Für $H = 1$ und $P = 0,76$, wird dann $Q = \alpha$.

Oder da

$$\frac{V'P' - VP}{0,76} = \frac{\alpha \,.\, P \,.\, H}{0,76}$$

$$\alpha = \left(\frac{V'P'}{P} - V\right)\frac{1}{H}.$$

Nach dem Boyle-Mariotte'schen Gesetze ist das Volum des Gases dem Druck umgekehrt proportional. Wie Regnault es darstellt

$$V : V' = P' : P$$

$$\text{oder } \frac{V}{V'} = \frac{P'}{P} \text{ oder } \frac{\frac{V}{V'}}{\frac{P'}{P}} = 1.$$

Die Curve des Volums nach dem Druck ist also eine gleichschenklige Hyperbel auf ihre Assymptote bezogen. Das Gas ist um so dichter, je kleiner die Potenz der Hyperbel. Nach Dulong und Arago gilt dies genau, Regnault aber wies nach, dass bei den compressibleren Gasarten die Curve unter der Hyperbel, bei Wasserstoffgas, welches sich „mehr als gasförmig“ verhält, darüber verläuft.

$$\frac{\frac{V}{V'}}{\frac{P'}{P}} \text{ stets} > 1, \text{ nur für } H < 1.$$

Da das Wasserstoffgas jetzt verflüssigt worden ist, muss seine Curve irgendwo die normale Hyperbel schneiden.

Das Absorptiometer von Bunsen ist veraltet, die meisten der damit gefundenen Zahlen als fehlerhaft erkannt. Vgl. über einen neueren, von Ostwald construirten Apparat Zeitschr. f. physikal. Chemie. 6. 1890. 141.

43. S. 50. *Schönfeld:*

Nach Roscoe und Dittmar folgt das Ammoniakgas bei 0° nicht, wie Schönfeld annahm, dem Dalton-Henry-schen Gesetz. Nach Sims nähert sich seine Curve erst bei 40° der gesetzmässigen Form, die sie bei 100° annimmt. Schweflige Säure entspricht erst über 40° dem Gesetz.

Uebrigens stimmt die im Text gegebene Reihenfolge der Absorbirbarkeit weder mit der Grösse der Abweichungen vom Mariotte'schen Gesetz, noch mit der Reihenfolge der Condensirbarkeit der betreffenden Gase nach den heute geltenden Zahlen überein. — Th. de Saussure s. Gilbert's Ann. 47. 1812. S. 113.

44. S. 51. *Spratzen:*

H. Rose, Ueber das Spratzen des Silbers, Pogg. Ann. 68 (154), 1846, S. 283, führt Samuel Lucas als Entdecker an, dessen Arbeit in Ann. de chimie et de phys., XII, S. 402, zu finden sei. Nach Gay Lussac in derselben Zeitschrift, 45. Band, 1830, S. 221, ist die Absorption des Sauerstoffs als eine chemische anzusehen. In der Handschrift findet sich die Angabe, dass 1—2 pCt. Kupfer oder Gold, dem Silber zugesetzt, das Spratzen verhindern. Dies ist, wie H. Rose angiebt, nach Le Vol, Journal f. prakt. Chemie, 36, S. 366, ein Irrthum. Die Beobachtung über das Iridium findet sich bei Bunsen. Notiz über die Schmelzbarkeit des Iridiums, Pogg. Ann. 41, 1837, S. 207: „Das Iridium scheint dann eine bedeutende Menge Gas zu absorbiren, welches beim Erstarren

wieder entweicht, und ganz ähnlich wie beim Silber die Erscheinung des Spratzens bewirkt.“ St. Claire Deville's Hypothese über die Entstehung des Bimssteins s. Comptes rendus. 58. 1864. S. 329.

45. S. 52. *Partialdruck der einzelnen Gase:*

Dies lässt sich vielleicht anschaulicher auch so ausdrücken: Ein Volum der Flüssigkeit absorbirt von der Menge jedes Gases, die es absorbiren würde, wenn das Gas allein vorhanden wäre, den Theil, der der Zusammensetzung des Gemenges dem Volum nach entspricht. Der „partiäre Druck“ ist nicht eine als solche vorhandene Druckgrösse, sondern nur ein Begriff, der aus der Zusammensetzung des Gemenges nach Volumprocenten hervorgeht.

46. S. 52. *Einfache Gesetze:*

Die Formel für das aus einem Gemenge absorbirte Gasvolum lautet

$$p_, v_, - p\,v = \frac{(\alpha\, f(t)\, a + \alpha_,\, f'(t)\, b + \ldots.)\, h\, p}{a + b + \ldots.},$$

wo a : b : .... das Mengenverhältniss der verschiedenen Gase, $\alpha, \alpha_{,,}$ .... die Absorptionscoëfficienten, $p_, v_,$ die ursprüngliche, p v die übrig bleibende Gasmenge.

47. S. 55. *Der physikalische Druck:*

Es giebt noch andere Fälle, wo so chemische mit mechanischer Kraft in Conflict geräth: Die Lösung von Zink in Schwefelsäure wird durch sehr hohen Druck gehindert. Der Fernet'sche Fall (Comptes rendus, 46, 1858, S. 620) gehört hierher: Kohlensäure wird durch Wasser, das Dinatriumphosphat gelöst enthält, zum Theil physikalisch absorbirt, zum andern Theil chemisch gebunden. Vgl. Ann. d. Chemie. 1863. II. Suppl. S. 157.

48. S. 58. *Tracheenkiemen:*

(Besser: Kiementracheen.) In der Handschrift findet sich hier der Zusatz: »Ebenso wie bei der Schwimmblase

der Fische, muss in diese zuerst Luft hineinsecernirt werden. — Bei Fischen, die noch mit dem Dottersack versehen sind, findet sich schon Luft in der Schwimmblase. Suckow, in Heusinger. Bd. II. 4. 1.*

Was die Schwimmblase anlangt, so ist nach Owen, Anatomy of Vertebrates, I., S. 607, auch bei den Fischen, die im ausgewachsenen Zustande keinen Luftgang haben, während der Entwicklung ein Luftgang vorhanden. Secretion von Luft brauchte in diesen Fällen also nicht angenommen zu werden.

49. S. 62. *Feuchtigkeitsgehalt der Luft:*

Der Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Wasserabgabe der Lungen kann indessen nicht so gross sein, wie es auf den ersten Blick erscheint. Die Tagesabgabe der Lungen wird zu etwa 500 g angegeben, was sich schon schwer mit den im Texte angeführten Zahlen vereinigen lässt. Denn selbst wenn man annimmt, dass zur Hälfte gesättigte, also sehr trockne Luft von 10° geathmet wird, enthält der Cubikmeter dieser Luft 9,7, also rund 10 g Wasser. Zur Sättigung für die Ausathmungstemperatur fehlen demnach 32 g pro Cubikmeter, und um die Tagesabgabe auf 500 g zu bringen, müssen demnach mehr als 15 cbm geathmet werden. Die gebräuchliche Schätzung der Athmungsluft, 20 Athemzüge zu je 0,5 Liter in der Minute, ergiebt aber nur 600 Liter in der Stunde oder 14,4 cbm in 24 Stunden. Der Unterschied für zu zwei Dritteln gesättigte Luft von — 10° und + 30° beträgt allerdings etwa 18 g pro Cubikmeter, also gegen 230 g in 24 Stunden, fast 50 pCt. der auf 500 g veranschlagten normalen Abgabe. — Die Angabe über den normalen Durchschnittsgehalt der Luft stammt aus Tyndall, On radiation, p. 41, die über trockne Luft von Wild.

50. S. 64. *Complicirtere Anschauungen:*

Vgl. Segel-Handbuch für die Ostsee, bearbeitet von

der Seewarte. 2. Aufl. Berlin 1891. I. S. 2—5. „Der Wind weht auf der nördlichen Halbkugel so, dass ein Beobachter, der mit dem Winde geht, den hohen Luftdruck (das barometrische Maximum) zu seiner Rechten, den tiefsten (das barometrische Minimum) zu seiner Linken und zugleich etwas vor sich hat. Man pflegt diesen Satz die Buys-Ballot'sche Regel zu nennen.“ „Die senkrecht zu den Linien gleichen Luftdrucks (Isobaren) gemessenen Druckunterschiede nennt man, wenn sie auf eine bestimmte Entfernung als Einheit bezogen werden, die Gradienten. Während die Richtung des Gradienten die Windrichtung bestimmt, so bedingt die Grösse des Gradienten mehr oder weniger die Windstärke.“ „Je grösser der Gradient, um so stärker ist im Allgemeinen der Wind.“ „Aus alledem folgt, dass die Luft auf der nördlichen Halbkugel ein barometrisches Maximum in demselben Sinne, wie die Zeiger einer Uhr sich bewegen, umkreist, zugleich spiralförmig vom Mittelpunkt sich entfernt, während dieselbe ein barometrisches Minimum im entgegengesetzten Sinne umweht.“ „Die barometrischen Depressionen sowohl als die Gebiete hohen Luftdruckes ändern ihren Ort, entstehen und verschwinden.“ „Die Fortpflanzung geschieht nun gewöhnlich aus westlicher nach östlicher Richtung, selten in rein südlicher oder nördlicher und noch seltener in der Richtung nach der Westseite des Horizontes.“

51. S. 64. *Wölbt sich die Eiweissblase:*

Dieser Versuch stammt von Draper, Professor am Hampden Sidney College in Virginien. Vgl. Pogg. Ann. 43, 1838, S. 88, nach Philos. Mag., Ser. III, Vol. XI, p. 559. „Ueberstreicht man die Mündung eines Gefässes mit dicker Seifenlösung, sodass sich eine Blase bildet, und stellt eine Flasche mit Stickoxydulgas darüber, so wölbt sich die Blase vor, bis sie eine schillernde Kugel

bildet.“ *MITSCHERLICH empfiehlt, um Seifenblasen zu machen, Kaliseife mit Schweinefett.*

52. S. 65. *Marianini:*

Ann. d. Physik u. Chemie. Bd. 65. (141.) 1845. S. 159. Ueber eine Erscheinung bei Seifenblasen, die auf Kohlensäuregas schwimmen. Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. IX. p. 382. Seifenblasen schwimmen auf Kohlensäure, wachsen dabei, und sinken dann tiefer ein, wobei sie noch schneller wachsen und endlich platzen. Der Versuch ist mit verschiedenen Gasen auszuführen. *mir nicht gelungen.*

53. S. 70. *Gleicher Procentgehalt:*

Diese Stelle der Handschrift entspricht, wie eine Randbemerkung anzeigt, einer Stelle im Journal für praktische Chemie, 70, 1857, S. 445, wo über eine Arbeit von A. LIEBEN aus den Ann. der Chem. u. Pharm., CI., 77, berichtet wird. LIEBEN hat ein mehrere Fuss langes abgeschmolzenes Glasrohr voll Salzlösung mehrere Monate hindurch senkrecht hängen lassen, und dann den Inhalt in fünf Strecken einzeln auf seinen Salzgehalt untersucht. Der Gehalt war an allen Stellen der gleiche. Ebenso fiel der Versuch mit einer Lösung von schwefliger Säure aus. Für die erwähnten Arbeiten werden folgende Nachweise gegeben: BEUDANT, Ann. de Chimie et de Phys. VIII. 15. — BISCHOFF, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. II. 1712. — GAY LUSSAC, Ann. de Chimie et de Phys. XI. 305.

54. S. 71. *Lösungsgleichgewicht:*

Zu der Aufzählung der Eigenschaften der Lösungen enthält die Handschrift noch einige Anmerkungen:

Die Angaben über die Steighöhe gehen auf DUTROCHET's Versuche an Kochsalz und Glaubersalz (Pogg. Ann. 28,

1833, p. 359) und Versuche von GRAHAM mit kohlensaurem Natrium und Kalium zurück.

Die Bemerkungen über die Wärmetönung sind nach PERSON und GRAHAM angeführt, mit dem Zusatz *dagegen bei Alkohol und Wasser die Wärme wegen Contraction hervortritt.* Vgl. dagegen OSTWALD, Stöchiometrie, 1891, S. 637: „Man kann nicht behaupten, dass die Wärmewirkungen und Volumänderungen in erkennbarer Beziehung stehen, denn es giebt Gemenge, welche sich zusammenziehen und dabei kälter werden."

Bei der Circumpolarisation ist auch die elektromagnetische Drehung erwähnt. VERDET (Pogg. Ann. 100. 1858, S. 172, Ann. de Chimie et de Phys. 52, S. 129) *$FeCl_3$ in Holzgeist doppelt so starkes negatives Drehungsvermögen wie schweres Glas.*

Nach OSTWALD's Darstellung (Stöchiometrie, 1893) sei hier noch ganz kurz das Wesentlichste über die neuere Entwicklung der Lehre von den Lösungen angegeben. Diese lässt sich aufbauen auf die Untersuchung zweier der im Text aufgeführten Eigenschaften: Erhöhung des Siedepunkts und elektrische Leitfähigkeit. Die Temperatur des Siedepunkts ist diejenige Temperatur, bei der die Dampfspannung der betreffenden Flüssigkeit den Atmosphärendruck überwindet. So lange also das Gesetz, nach dem die Temperatur auf die Grösse der Dampfspannung der verschiedenen Flüssigkeiten einwirkt, unbekannt ist, kann man in den Veränderungen des Siedepunkts keine Gesetzmässigkeit finden. Wenn dagegen nicht die Temperatur des gleichen Dampfdrucks, sondern die Grösse des Dampfdrucks bei gleicher Temperatur beobachtet wird, so ergiebt sich, dass die Verminderung des Dampfdrucks in Lösungen innerhalb gewisser Grenzen von der Temperatur unabhängig, von der Concentration abhängig, und für die verschiedensten Substanzen bei gleicher molekularer Concentration gleich ist. Nach dem Gesetz von RAOULT ist ferner der Werth der relativen Dampfdruckverminderungen für verschiedene

Lösungsmittel dann gleich, wenn das Verhältniss der Moleküle der gelösten Substanz und des Lösungsmittels dasselbe ist. Diese Gesetze gelten aber nur für „indifferente" Stoffe, dagegen ergeben die wässerigen Lösungen von Salzen, Säuren und Basen viel stärkere Erniedrigung der Dampfdrucke, als den Gesetzen entspricht. Diese Lösungen verhalten sich also, als enthielten sie mehr Moleküle des gelösten Stoffes, als hineingethan worden sind.

Bei der Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit der Lösungen hat man gefunden, dass nur solche Lösungen, die zu grosse Dampfdruckerniedrigung zeigen, gute Leiter sind, und zwar ist die auf die Anzahl der Moleküle berechnete Leitfähigkeit abhängig von der Concentration, indem sie mit der Verdünnung bis zu einem Maximum zunimmt. Mit steigender Concentration dagegen nimmt diese sogenannte „molekulare Leitfähigkeit" immer schneller ab. Arrhenius erklärte diese Erscheinung durch die Annahme, dass nur ein Theil der gelösten Moleküle an der Leitung betheiligt sei, und zwar sei das Verhältniss der Zahl der betheiligten zu den unbetheiligten Molekülen bei concentrirten Lösungen kleiner als bei den verdünnteren.

Die bekannten Erscheinungen der Elektrolyse beweisen, dass mit der Leitung des Stromes die Zerlegung der in Elektrolyten gelösten Moleküle in ihre Elemente „Ionen" verbunden ist. Man hatte über die Art und Weise, wie diese Zersetzung und Fortführung zu denken sei, keine befriedigende Erklärung finden können.

Indem aber Arrhenius die Beobachtungen van t'Hoff's über die anomale Dampfdruckerniedrigung und die Beobachtungen von sich und anderen über die molekulare Leitfähigkeit verglich, kam er zu dem Schluss, dass die an der Leitung betheiligten Moleküle solche seien, die in der Lösung schon im zerlegten Zustande als freie Ionen vorhanden wären. Die Existenz solcher zerlegten Moleküle war zur Erklärung verschiedener chemischer Beobachtungen schon früher angenommen worden. Die Lösung enthält

also nur einen Theil der Moleküle in unzersetztem Zustande, daneben aber die freien Ionen, deren Zahl die oben erwähnte Erniedrigung des Dampfdruckes bedingt. Berechnet man das Verhältniss der zerlegten zu den unzerlegten Molekülen aus der molekularen Leitfähigkeit, so erhält man denselben Werth, wie wenn man es aus der Dampfdruckerniedrigung ableitet. Durch diese Uebereinstimmung ist die sogenannte „Dissociationstheorie“ bestätigt.

Die Dissociationstheorie bedingt die Annahme elektrischer Ladung der freien Ionen. Daher kommen für die Diffusionsvorgänge der Elektrolyten, im Gegensatz zu den Nichtelektrolyten, die durch die Vertheilung der Ionen erzeugten Potentialunterschiede in Betracht. Auf Grund dieser Erkenntniss ist es möglich geworden, die Diffussionsconstanten, in guter Uebereinstimmung mit den Beobachtungen, durch Rechnung aus anderen physikalischen Daten abzuleiten. Vgl. W. Nernst, Theoret. Chemie. II. Aufl. 1898. S. 357—63.

55. S. 71. *Photographie:*

Das unterschwefligsaure Natron wird daher auch oft geradezu als „Fixirsalz“ bezeichnet. Das Fixiren besteht darin, dass der nicht durch die Lichtwirkung (und das „Entwickeln“) veränderte Theil der lichtempfindlichen Schicht in einer Lösung von „Fixirsalz“ ausgewaschen wird. Dabei löst sich das noch unveränderte Silbersalz in der Natriumhyposulfitlösung. „Fixiren“ ist eigentlich ein falscher Ausdruck, denn das hervorgerufene Bild selbst wird durch den Vorgang garnicht betroffen, sondern nur davor geschützt, dass es durch gleiche Umwandlung auch der nicht belichteten Partien zugedeckt wird.

56. S. 71. *Ueberschmelzung:*

Die Ueberschmelzung lässt sich nach Raoul Pictet sehr schön an Phosphor zeigen, der in einem Reagensglas

unter Wasser erwärmt wird. Die bei 44° geschmolzene Masse bleibt beim Abkühlen flüssig, bis man einen, durch Berührung mit festem Phosphor „dynamisch“ gemachten Glasstab hineintaucht.

57. S. 77. *„Gelbe Fluss“:*

Die Methode, das gelbe, mit suspendirtem Lehm oder Thon verunreinigte Wasser durch Zusatz von Alaun zu klären, beruht darauf, dass unter Freiwerden von Kohlensäure Kalksulfat und Thonerdehydrat gebildet werden. Letzteres fällt aus, und reisst die suspendirten Theilchen mit. 0,4 g fein gepulverten Alauns reichen, wenn das Wasser nach dem Eintragen stark umgerührt wird, aus, um 1 Liter Wasser in 18—17 Minuten zu klären. Vgl. Rubner's Lehrb. d. Hygiene. 1890. S. 311.

58. S. 77. *Wiederzusammenfliessen:*

Bei gleicher Form ist die Oberfläche eines Körpers im Verhältniss zur Masse um so grösser, je kleiner der Körper, da diese proportional dem Cubus, jene dem Quadrat der linearen Dimension abnimmt. Umgekehrt kann man dies Verhalten der Oberfläche zur Masse sehr deutlich veranschaulichen, wenn man sich die Vergrösserung eines Körpers durch Anfügen vieler kleiner Körper vergegenwärtigt. Bei jedem Anfügen verschwindet ein Theil der Oberflächen, nämlich der, wo die Anfügung stattfindet, im Innern des Körpers, es muss also die Masse schneller zunehmen als die Oberfläche. — Die Widerstände, die die fein vertheilten Substanzen erfahren, hängen im Allgemeinen ab von der Grösse der Oberfläche, die Kräfte, die sie zu bewegen streben, von der der Masse. Folglich wird die Suspension um so dauerhafter sein, je feiner die Substanz vertheilt war. Ein Beispiel vollkommener Suspension auch von grossen Tropfen in Flüssigkeit stellte Plateau dar, als er lehrte, Oeltropfen mit einem umgebenden Gemische von Wasser und Alkohol in vollkommenes Gleich-

gewicht zu bringen, um die Formen der dem Einfluss der Schwere entzogenen Flüssigkeit kennen zu lernen. Vgl. Plateau, Ueber die Erscheinungen bei einer freien und der Wirkung der Schwerkraft entzogenen Flüssigkeitsmenge. Pogg. Ann. 55. 1842. S. 517.

59. S. 78. *Ascherson:*

(Haptogenmembran.) *Ascherson's Idee, dass so Zellen gebildet werden könnten, beruhte auf der falschen Vorstellung (wie auch Schwann's Theorie), dass die Zelle etwas fertiges sei. Keine Idee von dynamischem Gleichgewicht der Materie. Ungleich besser sind Moritz Traube's künstliche Zellen denn doch.*

In der Handschrift findet sich ein dicht beschriebenes Blatt, das die Lehre von der Haptogenmembran betrifft. *von Ascherson entdeckt, Müller's Archiv, 1840.* Ferner werden angeführt: De hymenogenia albuminis, H. Guil. de Wittich, Regiomontii (1851). — Bennet, Monthly Journ. of medical Science. III. Sept. 1847. — Panum, Virchow's Arch. IV. 2. — Brande, Gilbert's Annalen. 64. S. 354. — Wurtz, Comptes rendus. 18. S. 700. — Erdmann und Marchand. Ebenda. 32. 503. — Endlich Zusatz mit rother Tinte: *Hier jetzt Moritz Traube, Centralblatt, 1864. S. 609.*

60. S. 80. *Fettverdauung:*

In der Handschrift steht an dieser (im Uebrigen fast wörtlich wiedergegebenen) Stelle hinter „löslich zu machen“:

Aber Fette können dies zwar, durch Verseifung: sie werden es aber erfahrungsgemäss nicht, sondern im Zustand einer feinen Emulsion u. s. w.

Nach I. Munk, Zur Lehre von der Resorption, Bildung und Ablagerung der Fette im Thierkörper, Virchow's Archiv, Bd. 95, 1884, S. 407, werden aber auch feste, also nicht emulgirbare Fette vom Darm resorbirt. Die Spaltung der Fette zum Zwecke der Resorption in Form

von Seifen ist also nicht auszuschliessen, sondern spielt sogar eine sehr wesentliche Rolle, wie auch v. WALTHER, FRANK und Andere bestätigt haben.

Auch die mehrfach erwähnten (S. 81, 103) Angaben WISTINGHAUSEN'S sind später von E. GRÖPER gründlich widerlegt worden, der durch sorgfältig angestellte Versuche das Gegentheil als richtig erwiesen und die Ursache der falschen Ergebnisse aufdecken konnte. S. Archiv für Physiol. 1889. S. 505, wo auch Litteratur angegeben ist.

61. S. 84. *Durchgehende Menge:*

Es ergiebt sich dafür die Gleichung:

$$q = \frac{\alpha \,.\, w\,(p-p')\,t\,f(\vartheta)}{d},$$

wo α der Querschnitt des Diffusionsstroms, $(p-p')$ die Differenz der Procentgehalte, d die Länge der Diffusionsstrecke, t die Zeit, $f(\vartheta)$ die Function der Temperatur bedeutet, die für die Diffusion des betreffenden Mittels gilt. α ist ein von der substantiellen Natur der des betreffenden Salzes abhängiger Coëfficient, die „Diffusionsconstante". Ferner verweist die Handschrift auf WROBLEWSKI, Pogg. Ann. 4. 1878. S. 268. Die dort eingeführte Diffusionsconstante ist $k = \frac{\alpha\ \mathrm{cm}^2}{\mathrm{Tag}}$, d. h. die in Grammen gemessene Menge der Substanz, die in einem Tage durch 1 qcm der Flüssigkeit hindurch diffundirt, wenn die Concentration zweier um 1 cm entfernter Schichten sich um 1 g pro Cubikcentimeter unterscheidet. S. auch unter 54 am Schluss.

62. S. 92. *Baumgärtner:* S. unter 63.

62. S. 88. *Zwei Schichten:*

Wasser und Aether zusammengeschüttelt verhalten sich je nach Temperatur verschieden. Die Angaben des Textes mögen für gewöhnliche Zimmertemperatur zutreffen. es giebt aber eine Temperatur, wo die beiden entstehenden

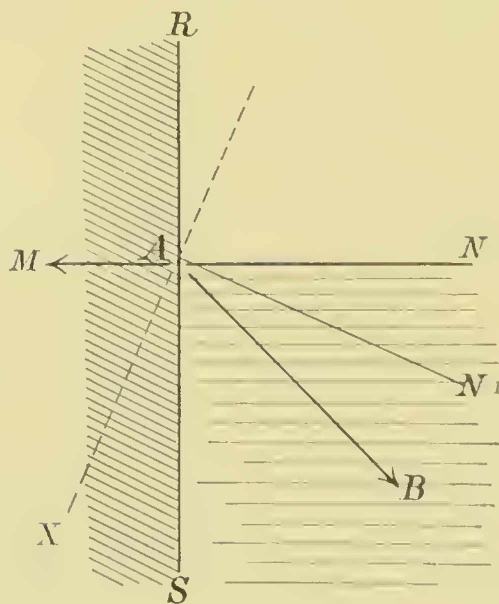
Lösungen, die von Wasser in Aether und die von Aether in Wasser, gleiche Zusammensetzung haben, sodass die Trennungsfläche verschwindet. Vgl. Zeitschr. f. physikal. Chemie. 24. 1897. 615. Bei Zusatz eines dritten Stoffes verschieben sich alle Verhältnisse, die Zusammensetzung beider Schichten, die Löslichkeit des dritten Körpers und die Temperatur, bei der die Schichten identisch werden. Systeme von drei flüssigen ungemischten Schichten sind dargestellt worden von SCHREINEMAKERS. Die im Text genannten Substanzen: Chloroform, Wasser und Aether sind dazu nicht geeignet, weil aus ihnen höchstens zwei beständige Schichten hervorgehen.

63. S. 92. *Baumgärtner:*

Die Naturlehre in ihrem gegenwärtigen Zustande. 8. Aufl. 1845. Hierzu giebt die Handschrift noch folgende nähere Erläuterung:

RS ist die feste Wand, AN ist das Niveau. Das Molekül A wird durch die Wand nach M, durch das Wasser nach B gezogen, ist AX die Resultante, so muss die Ober-

Fig. 25.



Entstehung des Randwinkels durch Cohäsion und Adhäsion.

fläche darauf senkrecht, d. h. concav sein, umgekehrt convex wenn die Resultante zwischen AS und AB fällt. Zerlegt man AB nach AS und AN, so hängt die Concavität und Convexität davon ab, ob die Kraft der Wand oder die Componente der Flüssigkeit auf A grösser ist. Die Componente nach AN $= \frac{1}{2}\,p'$, denn sie ist $= p'$, wenn man sich ebensoviel Wasser darüber denkt. Die Componente AM $= p$: also die Resultante, von deren Zeichen Convexität und Concavität abhängt:

$$p - \frac{1}{2}\,p', \text{ oder}$$

$$2\,p - p'.$$

Wenn $2\,p > p'$, wo die Säule gehoben wird, ist der Meniscus concav, wenn $2\,p < p'$, wo Capillardepression stattfindet, ist der Meniscus convex.

Demnach wird der Meniscus für den Fall, dass Adhäsion und Cohäsion gleich sind, noch concav ausfallen, und erst wenn Adhäsion : Cohäsion $=$ cos 45 : 1 oder sin 45 : 1 eben werden. Also wo

Coh. $>$ Adh. . . . . convex
Coh. : Adh. $=$ 1 : cos 45 . . . plan
Coh. $=$ Adh. . . . . concav
Coh. $<$ Adh. . . . . concav.

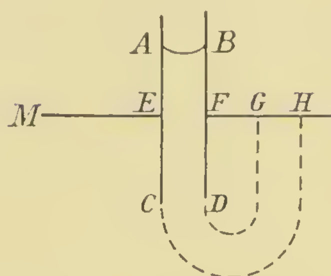
Eine Flüssigkeit mit dem Berührungswinkel 90° würde im Capillarrohr in Höhe der Oberfläche beharren.

Ausserdem findet sich in der Handschrift noch folgende Ableitung:

Von dem Rohr unmittelbar wird nur eine äusserst dünne Wasserschicht getragen, die eine zweite in ihr concentrisch steckende trägt und so fort (Fig. 26).

AEFB wird getragen durch die Anziehung P der Wand in A und B und in C und D (die beiden Punkte, wo eine Hinabbewegung nicht stattfinden könnte, ohne dass die Wand trocken würde, aufhörte, benetzt zu sein)

Fig. 26.



Theorie der Capillarwirkung.

und hinabgezogen durch die Schwere Q und durch die Anziehung des Wassers in C und D, P'. Es muss also sein

$2\,P = Q + P'$ oder

$2\,P - P' = Q$ (LAPLACE'sche Constanten)

$P = p\,c$

$P, = p'\,c$, wenn c der Umfang des Querschnitts. p ist Anziehung des Materials des Rohrs zur Flüssigkeit, p' Anziehung der Flüssigkeitstheilchen untereinander.

Ist der Flächeninhalt des Querschnitts a, die Höhe der Säule bei abgeplattetem Meniscus h, und das spec. Gew. der Flüssigkeit s, so ist

$$Q = a\,h\,s \text{ und also}$$

$$(2\,p - p')\,c = a\,h\,s$$

$$h = \frac{(2\,p - p')\,c}{a\,s} = \frac{2\,p - p'}{s} \cdot \frac{c}{a}$$

also ist a positiv nur für

$$2\,p > p'$$

$2\,p < p'$ ist der Fall des Quecksilbers, wo die Cohäsion also die Adhäsion überwiegt.

Ist der Querschnitt ein Kreis, so ist $c = \pi d$ und $a = \frac{1}{4}\,\pi d^2$ also $\frac{c}{a} = \frac{4}{d}$ und

$$h = \frac{2\,p - p'}{s} = \frac{4}{d} = \frac{A}{d}.$$

Ist der Querschnitt rechteckig und zwar b die Breite, d die Dicke, so ist $c = 2\,(b + d)$ und $a = bd$,

$$\frac{c}{a} = \frac{2(b+d)}{b\,d} = 2\left(\frac{1}{d} + \frac{1}{b}\right)$$

$$h = \frac{1}{2}\,A\left(\frac{1}{d} + \frac{1}{b}\right)$$

ist also d verschwindend, wie für 2 Platten, so wird $\frac{1}{b}$ unendlich klein und $h = \frac{A}{2\,d}$.

64. S. 100. *Jamin:*

Bei der Angabe über den niedrigeren Frierpunkt des Wassers in Capillaraggregaten steht am Rande: *James Thomson, Regelation, Viscosität, Durchschneiden eines Eisbalkens.* Um das Schmelzen des Eises unter Druck und die nachfolgende Regelation zu demonstriren, dient folgender überraschender Versuch: Ein Eisstück wird über zwei Böcke gebrückt, und ein dünner aber starker Stahldraht (Kupfer ist ein zu guter Wärmeleiter) mit einem schweren Gewicht an jedem Ende darüber gehängt. Infolge des Druckes schmilzt das Eis unter den Draht, sodass er allmählich einsinkt, über dem Draht friert aber das Schmelzwasser wieder zusammen. Schliesslich ist der Draht durch den ganzen Eisblock hindurch gewandert und das Gewicht stürzt auf die Erde, am Block ist aber die Spur des Schnittes nur an den zurückgebliebenen Luftblasen zu erkennen. Dieser Versuch stammt von James Thomson Bottomley. Pogg. Ann. 148. 1873. S. 492.

65. S. 101. *Volumänderung:*

Doch schwindet Thon beim Wasserverlust durch Brennen. Auf diese Eigenschaft, über die auch von anderer Seite verschiedene Untersuchungen gemacht worden sind, gründete Wedgewood eine pyrometrische Methode: Ein Stück Thon von genau bekannten Dimensionen wird der zu messenden Hitze ausgesetzt und nach dem Abkühlen auf einer eigens construirten und empirisch geaichten Mess-

bank gemessen. Vgl. Transact. of the Royal Society. 72. 1782. S. 305. 74. 1784. S. 358.

66. S. 101. *Quincke:*

H. Quincke, Ueber Imbibition. Pflüger' Archiv. 3. 1870. S. 332. Bei der Beschreibung des Versuchs ist in der Handschrift bemerkt: *Apparat, wie der von Gruithuisen und Erman beim Muskel angewendete.* Die Verhältnisszahl, die die Contraction ausdrückt, hätte noch höher angegeben werden können, denn ich finde bei Quincke für Eiweiss nach 36stündiger Quellung die auf 100 g aufgenommene Wassermenge zu 163,9, die Volumabnahme zu 4,175, das Verhältniss beider zu 39,2 angegeben.

67. S. 102. *Oesterlen:*

S. Archiv für physiologische Heilkunde von Roser und Wunderlich. I. 1842. S. 171, 326, 670. Diese Versuche sind, wie es scheint, in keine andere Zeitschrift übernommen worden, vermuthlich weil das Ergebniss ein zu unsicheres war.

68. S. 107. *Palmsonntagsfest:*

Vgl. Goethe's Gedichte: („Parabolisch") Symbole. (Meyer's Ausg. Bd. 2. S. 244.) Darüber, ob die mitgetheilte Anecdote authentisch sei, hat sich leider nichts feststellen lassen. Herr Priv.-Doc. Dr. A. Goldschmidt theilte gütigst mit, dass in der officiellen Berichterstattung des Baumeisters Fontana selbst über die Aufrichtung des Obelisken und die Vorarbeiten dazu, von dem Zwischenfalle nicht die Rede sei, und dass ferner aus Platner, Bunsen etc., Beschreibung der Stadt Rom, 1832, Bd. II, 1, S. 160, ersichtlich sei, dass diese Berichterstatter sich vergeblich bemüht haben eine authentische Nachricht über die im Volksmund lebende Geschichte zu entdecken.

69. S. 109. *Rose von Jericho:*

* Anastatica hierochantica Linné. Anastatica hierochantina Tiedemann. Eine Crucifere oder Tetradynamiste. (XV. Klasse von Linné.) Rosa de Hiericho Dalechamp, Rosa hierochantina Commelin.

„The attention of Eastern travellers has long been directed to it on account of the hygrometric property of the old withered annual stems, which are rolled up like a ball in dry weather, uproted by the storms of the deserts in Syria and Egypt and drifted about by the winds. If rain falls, the branches are restored to their original direction: and again in dry weather they become involute, and this property the plant retains for many years. The most absurd fables have been circulated respecting the virtues of this plant and greedily believed by the vulgar.“ *

Die Stelle, der das englische Citat entnommen ist, war leider nicht aufzufinden. Noch einige Angaben über hygroskopische Bewegungen von Pflanzen siehe bei Tiedemann, Physiologie des Menschen. Darmstadt 1836. I. S. 646.

70. S. 115. *Liebig:*

Untersuchungen über einige Ursachen der Säftebewegung im thierischen Organismus. Braunschweig 1848. S. 6 u. 7 u. ff. In der Handschrift ist dazu bemerkt: * Liebig's Angabe NaCl zu färben sehr umständlich. S. 17. * Die Angabe lautet: „Hierzu dient am besten eine Auflösung von Indigo in verdünnter Schwefelsäure, die man mit Bleiessig so lange versetzt hat, als sich noch indigschwefelsaures und schwefelsaures Blei niederschlägt, von dem Niederschlage abfiltrirt, und sodann bis zur Trockne im Wasserbade abdampft. Eine Spur des blauen Rückstandes reicht hin, um grosse Mengen Wasser blau zu färben.“ Statt dessen kann für die Demonstration einfach Lakmustinctur verwendet werden.

71. S. 117. *Cyanisiren:*

Vgl. dagegen KARMARSCH, Handb. d. mech. Technologie. 5. Aufl. 1875. I. S. 633. „Diese (jetzt wohl nur noch selten angewendete) Zubereitung“ etc.

In der Handschrift findet sich zur Ferrocyankupferprobe die Anmerkung: So lässt sich auch Kupfervitriol im Brod nachweisen, dem es manchmal die Bäcker zu gewissen betrügerischen Zwecken zusetzen. Vgl. hierüber RUBNER, Lehrb. d. Hygiene. 1890. S. 596. „Kupferhaltiges Brod mit verdünnter Schwefelsäure zu Teig geformt, erzeugt auf einem in den Teig gesteckten blanken Eisenstab einen Kupferüberzug.“

72. S. 117. *Leichter ins Wasser:*

Hier sei folgender Zusatz gestattet: Auf den Umstand, dass infolge der Tropfenspannung die Filtration leichter ins Wasser als in Luft erfolgt, gründete BRÜCKE seine Theorie der Bewegungen der Sinnpflanze (Mimosa pudica). Vgl. BRÜCKE, Vorlesungen über Physiologie. Wien 1881. S. 463. Die rein mechanische Erklärung ist aber offenbar unzureichend, um zum Beispiel das selbstthätige Schliessen der Blätter beim Einbruch der Nacht verständlich zu machen.

73. S. 125. *Jürgensen:*

Ueber die Bewegung fester, in Flüssigkeiten suspendirter Körper unter dem Einfluss des elektrischen Stromes. Archiv für Physiologie. 1860. S. 673.

Zuerst beobachtete JÜRGENSEN die Fortleitung an den Chlorophyllkörnern in den grossen viereckigen Zellen der bekannten Wasserpflanze Vallisneria.

Er dehnte dann die Versuche aus auf Carmin, Kohle, Platin, Kupferoxyd, Eisenoxyd, Stärke, Bärlappsamen, Fettkugeln der Milch, Blutkörperchen.

74. S. 141. *Farbstoff:* S. unter 75.

74. S. 140. *Niederschlag:*

Es sei hier im Anschluss an Ostwald's Darstellung (Stöchiometrie. Leipzig. 1891. S. 661 ff.) die weitere Entwicklung der Lehre von der Endosmose besprochen. Im Texte ist die Eigenthümlichkeit der Niederschlagsmembranen erwähnt, für einzelne gelöste Substanzen vollständig undurchdringlich zu sein. Wenn man sich also der Niederschlagsmembran zum Versuche bedient, ist die Hauptschwierigkeit der älteren Methoden umgangen, denn statt dass zwei unbekannte Flüssigkeitsmengen gegeneinander ausgetauscht werden, tritt nun einfach die eine Flüssigkeit zur andern über. Wird zum Beispiel eine mit einer aufgelagerten Niederschlagsmembran versehene Thonzelle mit der Lösung eines Stoffes gefüllt, für den die Membran undurchlässig ist, und in Wasser getaucht, so tritt nur Wasser durch die Membran ein, ohne dass die gelöste Substanz austreten kann.

„Die Zelle verhält sich, als sei in ihrem Innern ein partielles Vacuum für Wasser vorhanden. Dieses strömt hinein und bedingt, wenn man keinen Gegendruck sich entwickeln lässt, eine fortdauernde Bewegung, welche erst aufhören kann, wenn der Inhalt der Zelle der Umgebung gleich, das heisst, reines Wasser geworden ist."

Daraus folgt, dass das sogenannte „endosmotische Aequivalent" im Allgemeinen unendlich gross ist, dass also die ausgeführten Bestimmungen immer nur für die betreffende Versuchsanordnung gültig waren.

Es sind aber hier zwei miteinander auf das engste verwandte Gebiete zu unterscheiden: die durch die in den Theilchen des gelösten Stoffes wirkenden Kräfte bedingten Druckerscheinungen oder die osmotischen Phänomene, und die durch dieselben bedingten Bewegungserscheinungen oder die Diffusionsphänomene.

Lässt man wie beim Endosmometer die in die Thonzelle eindringende Wassermenge in einem Steigrohr aufsteigen, so nimmt der Diffusionsvorgang nach einiger Zeit

dadurch ein Ende, dass die hydrostatische Druckkraft der Wassersäule das Wasser mit ebenso grosser Gewalt aus der Thonzelle auszupressen strebt, als die osmotische Kraft der Lösung es einzuziehen strebt. Der Druck, bei dem dieser Gleichgewichtszustand eintritt, heisst der osmotische Druck der betreffenden Lösung.

Die Höhe des osmotischen Druckes ist von der Natur der Membranen unabhängig, sofern sie nur für die gelöste Substanz absolut undurchlässig sind. Bestände eine solche Abhängigkeit, so müsste durch ein System von zwei Membranen, die sich verschieden verhielten, und zwischen denen eine Lösung sich befände, reines Wasser in der Richtung von der Membran, die höheren Druck bedingt, zu der, die niedrigeren Druck bedingt, dauernd unter Druck strömen, und würde ein Perpetuum mobile darstellen.

Dagegen ist der osmotische Druck von der Concentration abhängig, und zwar in verschiedenen Lösungen gleich, wenn die Anzahl der gelösten Moleküle gleich ist. Man bezeichnet solche Lösungen als „isotonische“.

Der osmotische Druck wächst mit der Temperatur, und zwar ist die Zunahme für alle gelösten Substanzen im Allgemeinen gleich. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der osmotische Druck der absoluten Temperatur proportional ist.

Dieser Umstand bildet einen der Punkte, in denen sich der gelöste Zustand, wie van't Hoff gezeigt hat, dem gasförmigen analog verhält:

1. Der osmotische Druck ist proportional der Concentration oder umgekehrt proportional dem Volum, in welchem eine bestimmte Menge enthalten ist.

2. Der Druck nimmt bei constantem Volum proportional der absoluten Temperatur zu.

3. Mengen gelöster Stoffe, welche im Verhältniss der

Molekulargewichte stehen, üben, zu gleichem Volum gelöst, bei gleicher Temperatur gleichen Druck aus.

Der letzte dieser Sätze, die übrigens nur für verdünnte Lösungen streng erwiesen sind, erleidet infolge der Dissociation der gelösten Stoffe (s. unter 54) gewisse Ausnahmen.

Die Analogie wird vervollkommnet durch den von van t'Hoff bewiesenen Satz, dass der osmotische Druck, den eine gelöste Substanz ausübt, dem Druck gleich ist, den dieselbe Substanz bei derselben Temperatur und demselben Volum als Gas ausüben würde.

Nun ist das Erste, was bei der Bestimmung des osmotischen Druckes mit Hülfe der Niederschlagsmembran in die Augen springt, der hohe Zahlenwerth dieser Drucke. Eine $1\frac{1}{2}$ procentige Lösung von Salpeter zum Beispiel entwickelt einen osmotischen Druck von über drei Atmosphären.

Aus dem letztangeführten Satze geht hervor, dass eine Lösung, die 17 pCt. Ammoniak enthält, nicht weniger als 224 Atmosphären Druck gegen reines Wasser ausüben muss. „Es ist gelegentlich alles Ernstes die Frage aufgeworfen worden, warum eine solche Lösung die Gefässe nicht sofort zersprenge, in welche man sie bringt."

„Darauf ist zu antworten, dass eine solche Lösung Gefässe mit Wänden, welche Wasser durchlassen, Ammoniak aber nicht, allerdings sofort zersprengen würde, wenn man dieselben in reines Wasser brächte. Man beobachtet derartige Erscheinungen an der Zertrümmerung, welche Zellwände, die ein Protoplasma mit etwas concentrirterem Inhalt enthalten, in reinem Wasser erleiden. Nach aussen kann aber der Druck sich nicht geltend machen, denn ihm steht an der Oberfläche der normale Binnendruck entgegen, welcher in jeder Flüssigkeit herrscht, und welcher sich nach Tausenden von Atmosphären beziffert. Der osmotische Druck kann somit nur dahin wirken, dass durch Vermin-

derung dieses Binnendruckes das Volum der Flüssigkeit sich ein wenig vergrössert, nach aussen gelangt er niemals zur Geltung, weil er immer bei weitem von dem Binnendruck übertroffen wird."

75. S. 141. *Farbstoff:*

* Mit Ausnahme der Cochenille (Coccus Cacti) sind seit Verlust der Purpurschnecke sämmtliche Farbstoffe vegetabilischen Ursprungs. *

76. S. 145. *Curare:*

Die geringe Wirkung des Curare bei innerlicher Darreichung beruht nicht bloss darauf, dass es langsam resorbirt und ausgeschieden wird, sondern man muss annehmen, dass wenigstens ein Theil des innerlich aufgenommenen Giftes im Thierkörper zerstört wird. Der Urin subcutan injicirter Thiere enthält grosse Mengen wirksames Curare, der Urin von Thieren, die gleiche Mengen des Giftes innerlich erhielten, zeigte viel schwächere Giftwirkung. S. Zuntz und Jess. Pflüger's Archiv. 49. 1891. S. 437.

77. S. 146. *Hauttalg:*

In der Uebersicht über die verschiedenen Secrete, wie auch im folgenden Text, sind der Hauttalg und sogar die Geschlechtsproducte überall einfach unter den Producten der Secretion mit einbegriffen. Es besteht aber insofern ein Unterschied, als in diesen beiden Fällen unzweifelhaft die den Secretionszellen der eigentlichen Drüsen entsprechenden Zellen selbst ausgestossen werden.

Das Product der Talgdrüsen (nach Hansemann besser Talgfollikel) ist die fettig metamorphosirte Zelle selbst, das Product des Hodens die in Spermatozoen umgewandelte Spermatoblastzelle selbst, das Product des Eierstocks die Eizelle. Vgl. hierüber auch Seite 152. Es liegt auf der

Hand, dass bei diesen Vorgängen an eine physikalische Erklärung durch Diffusionsvorgänge nicht zu denken ist. Eine ganz allgemeine Betrachtung darf auch wohl die Absonderung organisirter Gebilde mit den anderen Absonderungen zusammenfassen, umsomehr, als durch die Betrachtung über die Wirkung der Castration (S. 148) den Geschlechtsproducten thatsächlich eine chemisch-physiologische Rolle im Organismus angewiesen wird.

Alphabetisches Inhaltsverzeichniss.

Die beigefügten Zahlen sind Seitenzahlen. Die Cursiv-Zahlen bedeuten die laufende Nummer der Anmerkungen und Zusätze.

Gedruckt bei L. Schumacher in Berlin.